หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔

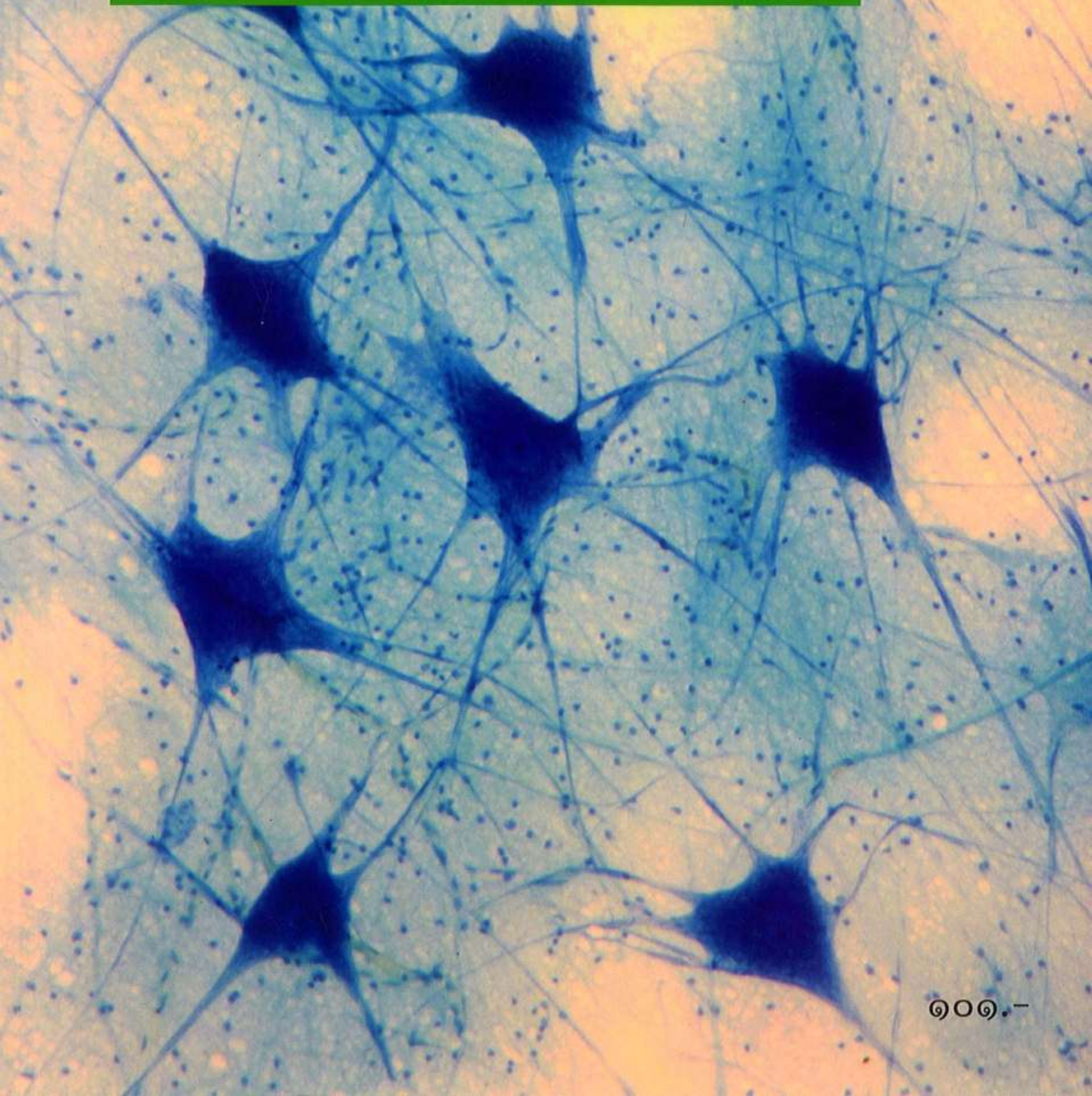
ชีววิทยา

เล่ม ๑

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑



๑๐๑.-

หนังสือเรียน

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์

ชีววิทยา

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑

ตามผลการเรียนรู้
กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย
สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

พิมพ์ครั้งที่ ๑
ISBN 978-616-362-677-6
จำนวน ๑๕๐,๐๐๐ เล่ม พ.ศ. ๒๕๖๑

จัดจำหน่ายโดย
องค์การค้าของ สกสค. พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว
๒๒๔๙ ถนนลาดพร้าว วังทองหลาง กรุงเทพมหานคร

ประกาศสำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน
เรื่อง อนุญาตให้ใช้สื่อการเรียนรู้ในสถานศึกษา

ด้วยสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑ ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน ได้พิจารณาแล้วอนุญาตให้ใช้ในสถานศึกษาได้

ประกาศ ณ วันที่ ๒๘ กุมภาพันธ์ พ.ศ. ๒๕๖๑

(นายบุญรักษ์ ยอดเพชร)
เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำนำ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) มีอำนาจหน้าที่ในการพัฒนาหลักสูตร วิธีการเรียนรู้ การประเมินผล การจัดทำหนังสือเรียน แบบฝึกหัด และสื่อการเรียนรู้ทุกประเภทที่ใช้ประกอบการเรียนรู้ในกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ของการจัดการศึกษาขั้นพื้นฐาน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑ นี้ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) จัดทำขึ้นตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ เพื่อให้สถานศึกษาพิจารณาเทียบเคียงกับหลักสูตรสถานศึกษา และพิจารณาเลือกใช้หนังสือนี้ประกอบการจัดการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับหลักสูตรสถานศึกษาของตนได้ตามความเหมาะสม

สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐานหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเรียนเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการเรียนรู้ในรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ และเป็นส่วนสำคัญในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานการศึกษา กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ขอขอบคุณสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีตลอดจนบุคคลและหน่วยงานอื่นๆ ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการจัดทำไว้ ณ โอกาสนี้

(นายบุญรักษ์ ยอดเพชร)
เลขาธิการคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อต้องการพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้กับกระบวนการ ใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไปนี้โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. จึงได้จัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ เล่ม ๑ นี้ มีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่ครอบคลุมเนื้อหาบางส่วนที่ปรากฏตามตัวชี้วัดรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ชีวภาพ โดยเมื่อผู้เรียนเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม ๑ - เล่ม ๖ ครบทุกชั้นปีในระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ - ๖ แล้วก็สามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์ วิทยาศาสตร์ชีวภาพได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อยอดเนื้อหาจากรายวิชาพื้นฐานไปสู่เนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติมได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเรียนซ้ำซ้อน ทั้งนี้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม ๑ นี้ มีเนื้อหาที่จำเป็นที่ต้องเรียนประกอบด้วยเรื่องการศึกษาชีววิทยา เคมีที่เป็นพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต เซลล์และการทำงานของเซลล์ ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญและเพียงพอสำหรับการศึกษาต่อในระดับอุดมศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ หรือประกอบอาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน เช่น แพทย์ ทันตแพทย์ สัตวแพทย์ เทคโนโลยีชีวภาพ เทคนิคการแพทย์ วิศวกรรม สถาปัตยกรรม วัสดุศาสตร์ อุตุนิยมวิทยา ธรณีวิทยา ฯลฯ โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา เชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ในชีวิตจริง ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ รวมทั้งกิจกรรมที่ผู้เรียนสามารถคิดค้นและออกแบบการทดลองด้วยตนเอง มีแบบตรวจสอบความรู้ความเข้าใจก่อนเรียน มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจทานความรู้หลังจากที่เรียนไปแล้ว รวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วย ในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดียิ่งจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบัน และสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา เล่ม ๑ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียน และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนเล่มนี้ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง

(นางพรพรรณ ไวทยางกูร)
ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

ข้อแนะนำทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้นักเรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญ และเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับมาตรฐานและสาระการเรียนรู้ รวมทั้งยังมีสื่อที่ช่วยเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน โดยสามารถเชื่อมต่อไปยังหน้าเว็บไซต์รายการสื่อได้จาก QR code หรือ URL ที่อยู่ประจำแต่ละบท การทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียนจะช่วยให้นักเรียนใช้หนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน มีดังนี้

1 คำถามสำคัญ

คำถามประจำบทที่ผู้เรียนต้องอาศัยความรู้ทั้งหมดในบทเรียนในการตอบคำถาม ซึ่งผู้เรียนควรตอบได้หลังจากได้เรียนรู้ในบทนั้นแล้ว

2 จุดประสงค์การเรียนรู้

เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งผู้เรียนควรศึกษาทำความเข้าใจก่อนเริ่มเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ

3 ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ชุดคำถามที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน ซึ่งผู้เรียนควรตอบคำถามให้ถูกต้องทั้งหมด หากไม่ถูกต้องควรทบทวนเนื้อหานั้นก่อนเริ่มการเรียนรู้เรื่องใหม่ในแต่ละบท

4 ชวนคิด

คำถามระหว่างเรียนที่เชื่อมโยงหรือต่อยอดความรู้เดิมที่ศึกษาแล้วกับความรู้ใหม่หรือความรู้ในศาสตร์อื่น เพื่อให้ผู้เรียนเห็นความสัมพันธ์หรือความต่อเนื่องของเนื้อหา

5 ตรวจสอบความเข้าใจ

คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยประเมินการเรียนรู้ ซึ่งผู้เรียนสามารถใช้ตรวจสอบว่า ตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาแล้วหรือยัง

6 ลองทำดู

การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งผู้เรียนสามารถลงมือปฏิบัติด้วยตนเองนอกเวลาเรียนได้

7 กิจกรรม

การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งผู้เรียนควรลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง

8 ตัวอย่าง

การแสดงแนวทางการตอบคำถามหรือการแก้โจทย์ปัญหา ซึ่งผู้เรียนสามารถศึกษาเพื่อให้มีความเข้าใจในเนื้อหาบทเรียนมากขึ้น

9 กิจกรรมเสนอแนะ

การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งอาจเป็นกิจกรรมที่ลงมือปฏิบัติในห้องเรียนหรือนอกเวลาเรียนได้

10 ความรู้เพิ่มเติม

ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล

11 รู้หรือไม่

ความรู้ที่เชื่อมโยงให้เห็นความสอดคล้องของเนื้อหาบทเรียนกับปรากฏการณ์หรือสถานการณ์ในชีวิตประจำวัน

12 การเชื่อมโยงความรู้

เนื้อหาที่แสดงความเชื่อมโยงของความรู้ในบทเรียนกับความรู้ในวิชาวิทยาศาสตร์สาขาอื่น ความรู้ในชีวิตประจำวัน หรือความรู้ที่ใช้ในอาชีพต่าง ๆ

13 กรณีศึกษา

ตัวอย่างข้อมูลจากการศึกษาหรืองานวิจัยที่สอดคล้องกับความรู้ในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนศึกษาวิเคราะห์จากกรณีจริง

14 สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

การสรุปเนื้อหาสำคัญภายในบทเรียน เพื่อช่วยให้เห็นภาพรวมของเนื้อหาทั้งหมด

15 แบบฝึกหัดท้ายบท

คำถามท้ายบทเรียนสำหรับให้ผู้เรียนตรวจสอบความเข้าใจหลังจากเรียนจบบทเรียนแล้ว ซึ่งผู้เรียนสามารถใช้เป็นข้อมูลในการทบทวนเนื้อหาที่ยังไม่เข้าใจได้

สารบัญ บทที่ 1 - 3

บทที่	เนื้อหา	หน้า

สารบัญ

บทที่ 1 - 3

บทที่	เนื้อหา	หน้า

บทที่ 1 | การศึกษาชีววิทยา

goo.gl/4MJmLm



รูปที่เห็นนี้เป็นสิ่งมีชีวิตหรือสิ่งไม่มีชีวิต ถ้ามีสิ่งมีชีวิต สิ่งมีชีวิตนั้นคืออะไร และมีหลักการจำแนกสิ่งมีชีวิตออกจากสิ่งไม่มีชีวิตอย่างไร

เคยสงสัยหรือไม่ว่าสิ่งมีชีวิตมีลักษณะอย่างไร และพลังงานสำหรับการดำรงชีวิตได้มาจากไหน สิ่งมีชีวิตมีการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมหรือไม่ ทำไมจึงต้องศึกษาวิชาชีววิทยา ซึ่งคำถามเหล่านี้จะได้ศึกษาและค้นหาคำตอบต่อไป

คำถามสำคัญ

1. **ลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงความเป็นสิ่งมีชีวิตนั้นเป็นอย่างไร**
2. **วิธีการศึกษาชีววิทยากับวิธีการศึกษาวิทยาศาสตร์มีหลักการที่เหมือนกันอย่างไร**
3. **กิจกรรมสะเต็มศึกษาที่ใช้วิธีการบูรณาการความรู้เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตจริงมีข้อดีอย่างไร**

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล วิเคราะห์ และอธิบายลักษณะเฉพาะที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต
2. ออกแบบ ทดลอง และอธิบายเกี่ยวกับการตอบสนองต่อสิ่งเร้าของสิ่งมีชีวิต
3. สืบค้นข้อมูล ออกแบบ และทดลองเกี่ยวกับอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการรักษาดุลยภาพของสิ่งมีชีวิต
4. อธิบายความสัมพันธ์ของการจัดระบบในสิ่งมีชีวิตที่ทำให้สิ่งมีชีวิตดำรงชีวิตอยู่ได้
5. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และสรุปขอบข่ายของศาสตร์ต่าง ๆ ทางด้านชีววิทยา
6. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และยกตัวอย่างประโยชน์ของการศึกษาชีววิทยาต่อคุณภาพชีวิตของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม
7. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และยกตัวอย่างเกี่ยวกับชีวจริยธรรม
8. อธิบายวิธีทางวิทยาศาสตร์ และยกตัวอย่างนักวิทยาศาสตร์ของไทยและผลงานที่ศึกษา
9. อภิปราย และระบุความสำคัญของการตั้งปัญหา ความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา สมมติฐาน และวิธีการตรวจสอบสมมติฐาน
10. ออกแบบการทดลอง และทดลองเพื่อตรวจสอบสมมติฐานตามวิธีการทางวิทยาศาสตร์ จากตัวอย่างการศึกษา
11. อธิบาย และบอกความสำคัญของสะเต็มศึกษาที่ใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาในชีวิตจริง
12. เปรียบเทียบความเหมือนหรือความแตกต่างระหว่างวิธีการทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
13. ออกแบบกิจกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษาโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (√) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

1. การสืบพันธุ์เป็นลักษณะที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตทำให้มีการเพิ่มจำนวนสิ่งมีชีวิตที่เป็นสปีชีส์เดียวกันและต่างสปีชีส์ได้
2. พืชจะมีความแตกต่างจากสัตว์ตรงที่มีอายุขัยและขนาดที่ไม่จำกัด
3. จรรยาบรรณในการใช้สัตว์เพื่อการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ ควรใช้สัตว์ที่มีโครงสร้างร่างกายที่ไม่ซับซ้อนแทนสัตว์ที่มีโครงสร้างร่างกายซับซ้อน
4. นักชีววิทยาโมเลกุล สนใจศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของสารชีวโมเลกุลและการเปลี่ยนแปลงของสารที่เกิดขึ้นภายในร่างกายสิ่งมีชีวิต
5. การสังเกตเป็นจุดเริ่มต้นของการค้นพบปัญหา ผู้ที่มีความละเอียดรอบคอบในการสังเกตจะช่วยให้สามารถแก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็ว
6. ทฤษฎีคือสมมติฐานที่ได้ผ่านการตรวจสอบแล้วหลายครั้งว่าเป็นจริงและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง
7. การทดลองทางวิทยาศาสตร์ที่มีการออกแบบและทำการทดลองที่ดี จะได้ผลการทดลองที่อาจจะสอดคล้องหรือไม่สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ได้
8. ชีววิทยาประกอบด้วยส่วนที่เป็นความรู้ (knowledge) และทักษะ (skills)
9. การตั้งปัญหาหรือการระบุปัญหาเป็นขั้นตอนที่สำคัญของวิธีการทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม
10. วิธีการทางวิทยาศาสตร์และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมีขั้นตอนที่สำคัญเหมือนกันแต่ต่างกันตรงการนำไปใช้ในการศึกษา

วิชาชีววิทยาเป็นการศึกษาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต การมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะของสิ่งมีชีวิตและธรรมชาติของชีววิทยาจะช่วยให้สามารถศึกษารายละเอียดในเชิงลึกในด้านต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิตได้ โดยต้องคำนึงถึงชีวจริยธรรมที่ใช้สิ่งมีชีวิตในการศึกษาด้วย ในการศึกษาทางชีววิทยานี้จำเป็นต้องใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์และเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ต่าง ๆ เช่น กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในการศึกษารายละเอียดของสิ่งมีชีวิตหรือสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดเล็กได้ ซึ่งจะได้ศึกษาในบทต่อไป นอกจากนี้การเรียนที่มีจุดเริ่มต้นจากการสังเกตเพื่อนำความรู้ไปใช้ในการแก้ปัญหาผ่านการปฏิบัติการทดลองหรือผ่านการทำกิจกรรมสะเต็มศึกษาจะช่วยพัฒนาทักษะในการคิด โดยเฉพาะการคิดวิเคราะห์ การคิดแก้ปัญหา และการคิดสร้างสรรค์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการนำไปสู่การพัฒนาชิ้นงานหรือนวัตกรรมต่าง ๆ ในอนาคตที่มีประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตต่อไปได้

ชีววิทยาเป็นวิทยาศาสตร์แขนงหนึ่งที่ว่าด้วยเรื่องราวเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิตทั้งหลายและความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมรอบตัว สิ่งที่น่าสนใจก็คือ **อะไรที่เป็นตัวบ่งบอกถึงความมีชีวิตของสิ่งมีชีวิต** ซึ่งจะได้ทราบดังต่อไปนี้

1.1 ธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต

1.1.1 สิ่งมีชีวิตคืออะไร

เราจะทราบได้อย่างไรว่าสิ่งใดเป็นสิ่งมีชีวิต และสิ่งมีชีวิตควรมีลักษณะเฉพาะอย่างไรบ้าง ในการตอบคำถามนี้ แต่ละคนอาจตอบได้แตกต่างกัน บางคนอาจตอบว่า สิ่งมีชีวิต คือ สิ่งที่เคลื่อนไหวได้ หายใจได้ สืบพันธุ์ได้ เจริญเติบโตได้ ฯลฯ ซึ่งคำตอบเหล่านี้เป็น**ลักษณะเฉพาะ** (characteristic) ของสิ่งมีชีวิตนั่นเอง

สิ่งต่าง ๆ ที่พบเห็นโดยทั่วไป อาจจะสามารถแยกได้ว่า สิ่งใดเป็นสิ่งมีชีวิต ซากของสิ่งมีชีวิต หรือสิ่งไม่มีชีวิต แต่ก็อาจมีสิ่งมีชีวิตบางชนิด เช่น ฟองน้ำ กัลปังหา ปะการัง ไดอะตอม ไลเคน เป็นต้น ที่อาจบอกได้ยากว่าเป็นสิ่งมีชีวิตหรือไม่ ดังรูป 1.1 จึงเป็นสิ่งที่น่าสงสัยว่า**นักชีววิทยาใช้เกณฑ์อะไรในการจำแนกสิ่งที่พบเห็นว่าเป็นสิ่งมีชีวิต**

ก.



ข.



รูป 1.1 ก. ไลเคน ข. ปะการัง

สิ่งมีชีวิตมีลักษณะเฉพาะที่สำคัญ ที่ต่างจากสิ่งไม่มีชีวิต คือ

1. มีกระบวนการเมแทบอลิซึม (metabolic process)

สิ่งมีชีวิตทุกชนิดจะมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับ**เมแทบอลิซึม** (metabolism) ได้แก่ การได้รับสารอาหารหรือความต้องการอาหาร กระบวนการเปลี่ยนสารอาหารเพื่อให้ได้พลังงาน และการกำจัดของเสียออกจากร่างกาย

สิ่งมีชีวิตต้องการอาหาร โดยสิ่งมีชีวิตแต่ละกลุ่มมีวิธีการได้รับสารอาหารที่แตกต่างกัน พืชมีการดูดซึมธาตุอาหารและน้ำเข้าทางรากเป็นส่วนใหญ่แล้วลำเลียงไปสู่ส่วนต่าง ๆ ของพืช เห็ดและรามีการปล่อยเอนไซม์ออกมาย่อยอาหารนอกเซลล์แล้วดูดซึมสารอาหารที่ถูกย่อยเป็นโมเลกุลขนาดเล็กเข้าสู่เซลล์ ส่วนสัตว์และมนุษย์จะกินอาหาร นอกจากนี้สัตว์แต่ละชนิดจะกินอาหารที่แตกต่างกัน เช่น คางคกกินแมลง นกกินหนอนหรือเมล็ดพืช กวางกินใบไม้ แมวกินปลา เสือกินเนื้อสัตว์ เป็นต้น **เพราะเหตุใดสัตว์แต่ละชนิดจึงกินอาหารที่แตกต่างกัน**

? สามารถแบ่งกลุ่มสัตว์ตามชนิดของอาหารที่กินได้กี่กลุ่ม ยกตัวอย่างประกอบ

อาหารที่เข้าสู่ร่างกายสิ่งมีชีวิตจะถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานด้วยกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี สิ่งมีชีวิตจะไม่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ถ้าปราศจากอาหารและพลังงาน **อาหารและพลังงานสำคัญต่อการมีชีวิตอย่างไร**

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตบนโลก พืชและสาหร่ายสีเขียวสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานศักย์สะสมอยู่ในโมเลกุลของสารประกอบคาร์บอนที่อยู่ในเนื้อเยื่อของพืช โดยกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง มนุษย์และสัตว์ได้รับการถ่ายทอดพลังงานโดยการกินกันเป็นทอด ๆ จากโซ่อาหารและสายใยอาหาร ทำให้ได้รับสารอาหารและพลังงานเพื่อการดำรงชีวิต หรือใช้ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น การเคลื่อนไหวร่างกาย การงอกของรากพืช หรือช่วยเสริมสร้างให้ร่างกายเจริญเติบโต ซ่อมแซมเนื้อเยื่อที่ชำรุด และเพื่อการสืบพันธุ์ เป็นต้น

อาหารที่สิ่งมีชีวิตกินเข้าไปพบว่าจะมีบางส่วนที่ร่างกายไม่สามารถนำไปใช้ได้เหลือเป็นกากอาหาร ซึ่งจำเป็นจะต้องกำจัดออกจากร่างกาย ส่วนของเสียที่เกิดจากกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต ก็จะถูกขับออกจากร่างกายผ่านกระบวน**การขับถ่าย** (excretion) เช่น การขับปัสสาวะในสัตว์และมนุษย์ เป็นต้น

2. **มีกระบวนการสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต** (generative process)

การสืบพันธุ์ (reproduction) เป็นลักษณะสำคัญของสิ่งมีชีวิต การสืบพันธุ์เป็นกระบวนการเพิ่มจำนวนสิ่งมีชีวิตของ**สปีชีส์** (species) เดียวกันเพื่อดำรงรักษาเผ่าพันธุ์ไว้ สิ่งมีชีวิตสปีชีส์เดียวกันสามารถสืบพันธุ์และให้ลูกหลานได้ และมีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมจากรุ่นหนึ่งไปสู่อีกรุ่นหนึ่งผ่าน **สารพันธุกรรม** (genetic material) จึงมักพบว่าสิ่งมีชีวิตรุ่นลูกจะมีลักษณะที่ปรากฏ เช่น ความสูง สีผิว สีตา จมูก ใบหู ตา และริมฝีปาก เป็นต้น ที่คล้ายกับพ่อและแม่ ลักษณะที่ปรากฏเหล่านี้จะถูกควบคุมโดย**ยีน** (gene) ซึ่งจะได้เรียนรายละเอียดในบทพันธุศาสตร์ต่อไป

กิจกรรม 1.1 การงอกใหม่

จุดประสงค์

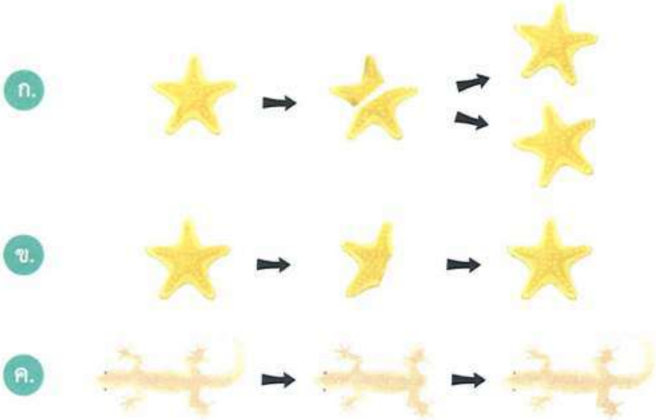
สรุปได้ว่าการงอกใหม่เป็นการสืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต

วัสดุอุปกรณ์

แผนภาพดาวทะเล และจิ้งจก

วิธีการทำกิจกรรม

ให้สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตในแผนภาพข้างล่างนี้แล้วตอบคำถาม



คำถามท้ายกิจกรรม

? การเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิต ในภาพ ก. ข. และ ค. มีลักษณะที่เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

? การงอกใหม่ของสัตว์ภาพใดถือว่าเป็นการสืบพันธุ์ เพราะเหตุใด

ลองทำดู

ให้นักเรียนศึกษาเกี่ยวกับการงอกใหม่ของสิ่งมีชีวิตชนิดอื่น ๆ อีกอย่างน้อย 2 ตัวอย่าง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน

สิ่งมีชีวิตมี**การเจริญเติบโต** (growth and development) มีอายุขัยและขนาดจำกัด พบว่าเซลล์ไข่ของมนุษย์มีขนาด 100 ไมโครเมตร (µm) ซึ่งยากที่จะมองเห็นด้วยตาเปล่า เมื่อเกิดการปฏิสนธิได้เป็นไซโกตและเป็นเอ็มบริโอ จนกระทั่งพัฒนาและคลอดออกมาเป็นทารกมีขนาดความยาว 50-65 เซนติเมตร และมีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 2,800-3,800 กรัม เมื่อมีการเจริญเติบโตจนถึงวัยผู้ใหญ่บางคนอาจมีร่างกายสูงถึง 160-180 เซนติเมตร และมีน้ำหนักตัวมากถึง 50 กิโลกรัมหรือมากกว่านี้ แสดงว่าสิ่งมีชีวิตมีการเจริญเติบโต

การเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต เซลล์มีการเพิ่มจำนวน มีการเพิ่มขนาด มีการเปลี่ยนแปลงเพื่อทำหน้าที่เฉพาะอย่างและมีการรวมกลุ่มของเซลล์เพื่อพัฒนาเป็นเนื้อเยื่อและอวัยวะต่าง ๆ สิ่งมีชีวิตบางชนิดขณะเจริญเติบโตไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง แต่สิ่งมีชีวิตบางชนิดขณะเจริญเติบโตมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้างของร่างกายแตกต่างไปจากเดิมอย่างเห็นได้ชัดเจน เช่น ผีเสื้อ ยุง กบ เป็นต้น เมื่อสิ่งมีชีวิตเจริญเติบโตระยะหนึ่งก็จะตายไป อายุของสิ่งมีชีวิตตั้งแต่เกิดจนตายเรียกว่า **อายุขัย** (life span) สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีอายุขัยจำกัด ดังตาราง 1.1

ตาราง 1.1 อายุขัยสูงสุดของสิ่งมีชีวิตชนิดต่าง ๆ

สิ่งมีชีวิต	อายุขัยสูงสุด (ปี)
มนุษย์	120
เต่ากาลาปากอส	152
ช้างอินเดีย	70
จระเข้ปากยาว	52
เหยี่ยว	46
กอริลลา	39
คางคก	36
แมว	27
สุนัข	20
ค้างคาว	13
หนู	3

? จากตาราง 1.1 จะสรุปได้ว่าอย่างไร

? สัตว์ชนิดใดมีอายุขัยสั้น และสัตว์ชนิดใดมีอายุขัยยาวกว่าสัตว์อื่น ๆ

อายุขัยของพืชมีความแตกต่างกัน อาจจะพิจารณาได้เป็นกลุ่ม เป็นกลุ่ม**พืชที่มีช่วงอายุสั้น** (ephemeral plant) เช่น บานชื่น ดาวเรือง บานเย็น แพงพวยฝรั่ง ถั่วเขียว ถั่วลิสง และพืชตระกูลแตง เป็นต้น กลุ่ม**พืชปีเดียว** (annual plant) เช่น ข้าว อ้อย สับปะรด เป็นต้น กลุ่ม**พืชสองปี** (biennial plant) พืชพวกนี้มักมีลำต้นใต้ดิน เมื่อใบและลำต้นแห้งเหี่ยวไปยังมีลำต้นที่อยู่ใต้ดินสามารถงอกและเกิดดอกออกมาในปีถัดมา เช่น ว่านสี่ทิศ หอม กระเทียม เป็นต้น และกลุ่ม**พืชหลายปี** (perennial plant) อาจเป็นไม้พุ่มหรือไม้ต้น เช่น มะม่วง โพธิ์ หางนกยูง ประดู่ เต็ง แก้ว ข่อย จำปี เป็นต้น การนับอายุของไม้ต้นอาจนับได้จากจำนวนวงปี พืชบางชนิดเมื่อออกดอกและผลแล้วตาย เช่น ไผ่ ลาน เป็นต้น

จากที่กล่าวมาแล้วสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีอายุขัยจำกัด สิ่งที่น่าสงสัยคือ **ขนาดของสิ่งมีชีวิตมีขนาดจำกัดหรือไม่ นักเรียนเคยเห็นยุงมีขนาดเท่ากับนก หรือต้นพริกสูงเท่ากับต้นมะม่วงหรือไม่**

ถ้าสังเกตดูสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดเมื่อเจริญเติบโตเต็มที่แล้ว ขนาด ความยาวหรือความสูงจะไม่เพิ่มขึ้นอีก ตัวอย่างดังรูป 1.2



รูป 1.2 ขนาดของสัตว์เลื้อยคลานที่โตเต็มที่ 3 ชนิด
ก. จิ้งจก (×1/3) ข. กิ้งก่า (×1/3) ค. จระเข้ (×1/44)

จากรูป 1.2 จะเห็นว่าสัตว์เลื้อยคลาน 3 ชนิด มีลักษณะคล้ายคลึงกันแต่เมื่อเจริญเติบโตเต็มที่จะมีขนาดแตกต่างกัน ในพืชก็เช่นกัน เรือนยอดของต้นไม้ในป่าจะมีความสูงแตกต่างกันและขนาดเส้น รอบวงของลำต้นจะมีขนาดแตกต่างกันด้วย ถ้าพิจารณาลำต้นตามขนาดความสูงเมื่อพืชโตเต็มที่อาจแบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ **ไม้ล้มลุก** (herb) ซึ่งมีความสูงไม่เกิน 120 เซนติเมตร **ไม้พุ่ม** (shrub) มีความสูงประมาณ 120-300 เซนติเมตร และพวกที่มีความสูงมากกว่านี้จัดเป็น **ไม้ต้น** (tree)

3. **มีกระบวนการการตอบสนองต่อสิ่งเร้า** (responsive process)

สิ่งมีชีวิตมีการตอบสนองต่อสิ่งเร้าในธรรมชาติ โดยพบพืชหลายชนิดที่เลื้อยพันหลัก เช่น บวบ น้ำเต้า ฟัก ถั่วฝักยาว ตำลึง เป็นต้น พืชเหล่านี้อาศัยลำต้นพันไปรอบ ๆ หลัก และมีมือเกาะ (tendril) พันรอบกิ่งไม้ที่อยู่ใกล้ ๆ เพื่อพยุงลำต้นขึ้นที่สูงให้ใบรับแสง ต้นไม้บางชนิด เช่น ทานตะวันจะหันดอกเข้าหาแสงอาทิตย์ ดอกบัวบางชนิดจะบานในตอนเช้าและหุบในตอนเย็น ใบพืชวงศ์ถั่วในตอนเย็นและกลางคืนจะหุบใบและก้านใบห้อยลงมา แมวเมื่อเห็นหนูจะวิ่งไล่ตระครุบ เหยี่ยวโฉบลงมาจับลูกไก่ กิ้งกือเมื่อโดนสัมผัสจะขดตัว และนกจิกแมลง เป็นต้น

จะเห็นได้ว่าสิ่งมีชีวิตมีการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อหาอาหาร หลบหลีกภัยจากศัตรู และมีการปรับตัวให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม เช่น อากาศที่หนาวจัดหรือร้อนจัดเกินไป ทั้งนี้เพื่อความอยู่รอด สภาพของสิ่งแวดล้อมที่ทำให้สิ่งมีชีวิตแสดงพฤติกรรม เรียกว่า **สิ่งเร้า** (stimulus) สิ่งเร้าของสิ่งมีชีวิตมีทั้งสิ่งเร้าภายในและภายนอกร่างกายของสิ่งมีชีวิต และการแสดงออกของสิ่งมีชีวิตต่อสิ่งเร้า เรียกว่า **การตอบสนอง** (response)

? สิ่งแวดล้อมภายนอกและสิ่งแวดล้อมภายในที่เป็นสิ่งเร้าของสิ่งมีชีวิตมีอะไรบ้าง

? การพัฒนาของระบบประสาทของสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีความสัมพันธ์กับการตอบสนองต่อสิ่งเร้าของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ อย่างไร

กิจกรรม 1.2 การตอบสนองต่อสิ่งเร้าของไส้เดือนดิน

จุดประสงค์

สังเกต ทดลอง และอธิบายการตอบสนองของไส้เดือนดิน ต่อสารเคมี แสง และความชื้น

วัสดุและอุปกรณ์

1. ไส้เดือนดิน
2. น้ำส้มสายชู
3. แอมโมเนีย
4. น้ำ
5. ไฟฉาย
6. สำลีพันก้าน
7. กระดาษเยื่อ
8. กล่องพลาสติก
9. โคมไฟ (ชนิดหลอดไส้ 40-60 วัตต์)

วิธีการทำกิจกรรม

1. วางกระดาษเยื่อลงในกล่องพลาสติก พรมน้ำให้ชื้นและวางไส้เดือนดินลงไป 1 ตัว
2. สังเกตลักษณะของไส้เดือนดิน ระบุส่วนหัว และส่วนท้าย โดยสังเกตได้จากการเคลื่อนที่ ส่วนที่เคลื่อนที่นำคือส่วนหัว และส่วนที่เคลื่อนที่ตามคือส่วนท้าย
3. ทดสอบการตอบสนองต่อสารเคมีของไส้เดือนดินโดยการใช้สำลีพันก้าน ชุบแอมโมเนียจ่อใกล้ ๆ ส่วนหัวของไส้เดือนดิน ระวังอย่าให้แอมโมเนียถูกตัวไส้เดือนดิน สังเกตผลที่เกิดขึ้น จากนั้นให้นำสำลีพันก้านชุบแอมโมเนียจ่อใกล้ๆ บริเวณส่วนกลางและส่วนท้าย และสังเกตผลที่เกิดขึ้น
4. ทดสอบเหมือนข้อ 3 แต่เปลี่ยนจากแอมโมเนียเป็นน้ำส้มสายชู
5. ทดสอบการตอบสนองต่อแสงของไส้เดือนดินโดยส่องไฟฉายไปที่บริเวณส่วนหัว ส่วนกลาง และส่วนท้ายของไส้เดือนดิน สังเกตผลที่เกิดขึ้น
6. ทดสอบการตอบสนองต่อความร้อนของไส้เดือนดินโดยส่องโคมไฟไปที่บริเวณส่วนหัว ส่วนกลาง และส่วนท้ายของไส้เดือนดิน สังเกตผลที่เกิดขึ้น
7. ทดสอบการตอบสนองต่อความชื้นของไส้เดือนดิน โดยวางกระดาษเยื่อเปียกที่ด้านหนึ่งของกล่องพลาสติก และวางกระดาษเยื่อแห้งไว้อีกด้านหนึ่ง จากนั้นวางไส้เดือนดินตรงกลาง และสังเกตการเคลื่อนที่ของไส้เดือนดิน

ลองทำดู

1. ให้นักเรียนเลือกสิ่งมีชีวิตที่สนใจจะศึกษามาอย่างน้อย 1 ชนิด แล้วออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาดูว่าสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ สามารถตอบสนองต่อสิ่งเร้า เช่น อุณหภูมิ สี สารเคมี อาหาร เป็นต้น
2. ดำเนินการทดลอง และบันทึกผล แล้วนำเสนอผลการทดลองและอภิปรายในชั้นเรียน
   - ? สิ่งมีชีวิตที่นักเรียนศึกษาตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้หรือไม่ อย่างไร
   - ? ผลการทดลองของนักเรียนและของกลุ่มอื่น ๆ สรุปได้ว่าอย่างไร

4. มีกระบวนการควบคุม (regulating process) สมดุลของร่างกาย

สิ่งมีชีวิตต้องมีการควบคุมสมดุลหรือการรักษา**ดุลยภาพ** (homeostasis) ของร่างกายเพื่อให้ระบบต่าง ๆ ทำงานได้เป็นปกติ จากการนำสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว เช่น อะมีบา พารามีเซียม มาใส่ในสารละลายที่ความเข้มข้นต่ำกว่าสารละลายภายในเซลล์ พบว่าโครงสร้างภายในเซลล์ที่เรียกว่า **คอนแทร็กไทล์แวคิวโอล** (contractile vacuole) มีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและรูปร่าง เนื่องจากสารละลายในสภาพแวดล้อมภายนอกเซลล์มีความเข้มข้นน้อยกว่าสารละลายภายในเซลล์จึงเกิดการออสโมซิสของน้ำจากภายนอกเข้าสู่ภายในเซลล์ตลอดเวลา และถ้าน้ำเข้าไปในเซลล์มากขึ้นเซลล์จะขยายขนาดจนอาจทำให้เซลล์แตก พารามีเซียมจึงต้องมีกลไกเพื่อรักษาสมดุลของน้ำและสารละลายระหว่างสภาพแวดล้อมภายนอกเซลล์และภายในเซลล์ โดยมีการลำเลียงของเหลวเข้าสู่คอนแทร็กไทล์แวคิวโอล ทำให้คอนแทร็กไทล์แวคิวโอลมีขนาดใหญ่ ขยายขนาดเต็มที่และบีบตัวให้ของเหลวส่วนเกินนี้ออกนอกเซลล์



รูป 1.3 คอนแทร็กไทล์แวคิวโอลของพารามีเซียม

สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ก็เช่นกันจึงต้องมีกลไกในการรักษาดุลยภาพภายในร่างกายให้อยู่ในสภาพสมดุลซึ่งรวมถึงการรักษาสมดุลของน้ำ อุณหภูมิ และ pH เป็นต้น

กิจกรรมเสนอแนะ : อุณหภูมิกับการรักษาดุลยภาพของปลา

จุดประสงค์

ออกแบบ และทดลองเพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อการรักษาดุลยภาพของปลา

วัสดุและอุปกรณ์

1. ปลาน้ำจืดที่มีเกล็ด เช่น ปลาตะเพียนขนาดเล็ก ปลาสอด ปลาเงินปลาทอง หรือปลาอื่น ๆ ที่มีอยู่ในท้องถิ่น
2. น้ำ
3. น้ำแข็ง
4. น้ำร้อน
5. เทอร์มอมิเตอร์
6. บีกเกอร์ขนาด 100 mL และขนาด 250 mL (ขนาดละ 3 ใบ)

วิธีการทำกิจกรรม

1. เตรียมปลาน้ำจืดที่มีเกล็ด 3 ตัว เลี้ยงไว้ในอ่าง
2. เตรียมน้ำใส่บีกเกอร์ขนาด 100 mL จำนวน 3 ใบ วัดอุณหภูมิน้ำให้ได้ประมาณ 25 ˚C นำปลาใส่ลงในบีกเกอร์ ใบละ 1 ตัว ทิ้งไว้ประมาณ 2 นาที นับจำนวนครั้งของการขยับแผ่นปิดเหงือก (operculum) ต่อนาทีของปลาในแต่ละบีกเกอร์ แล้วหาค่าเฉลี่ย ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที
3. เตรียมน้ำใส่บีกเกอร์ขนาด 250 mL จำนวน 3 ใบ วัดอุณหภูมิน้ำให้ได้ประมาณ 15 ˚C (ใช้การปรับอุณหภูมิของน้ำโดยการเติมน้ำแข็ง 1-2 ก้อน) จากนั้นนำบีกเกอร์ในข้อ 2 ที่มีปลาอยู่ ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 250 mL ที่ปรับอุณหภูมิแล้ว ทิ้งไว้ประมาณ 2 นาที นับจำนวนครั้งของการขยับแผ่นปิดเหงือก ต่อนาทีของปลาในแต่ละบีกเกอร์ แล้วหาค่าเฉลี่ย ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที
4. ทำซ้ำข้อ 3 แต่เปลี่ยนอุณหภูมิของน้ำเป็น 40 ˚C (ใช้การปรับอุณหภูมิของน้ำโดยการเติมน้ำอุ่นลงไป)

ข้อควรปฏิบัติ

หลังจากทำการทดลองควรนำปลาไปปล่อยในบริเวณที่มีสภาพแวดล้อมเหมาะสม

? อัตราการขยับแผ่นปิดเหงือก ก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำ แตกต่างกันหรือไม่ เพราะเหตุใด

? การขยับแผ่นปิดเหงือกของปลาเกี่ยวข้องกับการรักษาดุลยภาพของปลาอย่างไร

ลองทำดู

ให้นักเรียนศึกษาและทดลองเกี่ยวกับปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการรักษาดุลยภาพของปลามาอีก 1 ปัจจัย แล้วนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกัน

มนุษย์ก็มีการรักษาดุลยภาพของร่างกาย เช่น เมื่อดื่มน้ำเข้าไปมาก ๆ ร่างกายก็จะขับน้ำออกจากร่างกายมากตามไปด้วยทำให้ต้องปัสสาวะบ่อยครั้งขึ้น หรือการที่ร่างกายมนุษย์มีอุณหภูมิคงที่ประมาณ 37 องศาเซลเซียสไม่ว่าสภาพอากาศภายนอกร่างกายจะร้อนหรือเย็น เป็นการรักษาสมดุลของอุณหภูมิร่างกาย

? พืชมีการรักษาสมดุลของน้ำได้อย่างไร

5. **มีการจัดระบบ** (organization)

สิ่งมีชีวิตแม้จะประกอบด้วยเซลล์เดียวก็มีการจัดระบบหน้าที่ในการทำงานของโครงสร้างต่าง ๆ ภายในเซลล์ เช่น คลอโรพลาสต์ทำหน้าที่สร้างอาหารให้แก่เซลล์ ไมโทคอนเดรียเป็นแหล่งให้พลังงาน แวคิวโอลควบคุมสมดุลของน้ำหรือเป็นที่เก็บผลึกของสาร นิวเคลียสทำหน้าที่ควบคุมการทำกิจกรรมต่าง ๆ ของเซลล์ เป็นต้น สิ่งมีชีวิตที่มีหลายเซลล์ก็มีการจัดระบบภายในร่างกาย เริ่มจากหน่วยที่เล็กที่สุดในระดับ**เซลล์** (cell) ไปยังหน่วยใหญ่ในระดับ**สิ่งมีชีวิต** (organism) เช่น มนุษย์ประกอบด้วยเซลล์จำนวนมากนับล้านล้านเซลล์ เซลล์เหล่านี้มีหลากหลายชนิด แต่ละชนิดทำหน้าที่แตกต่างกัน เซลล์ที่มีโครงสร้างและหน้าที่คล้ายกันจะมีการรวมกลุ่มเป็น**เนื้อเยื่อ** (tissue) เพื่อทำหน้าที่เฉพาะอย่าง เช่น เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ

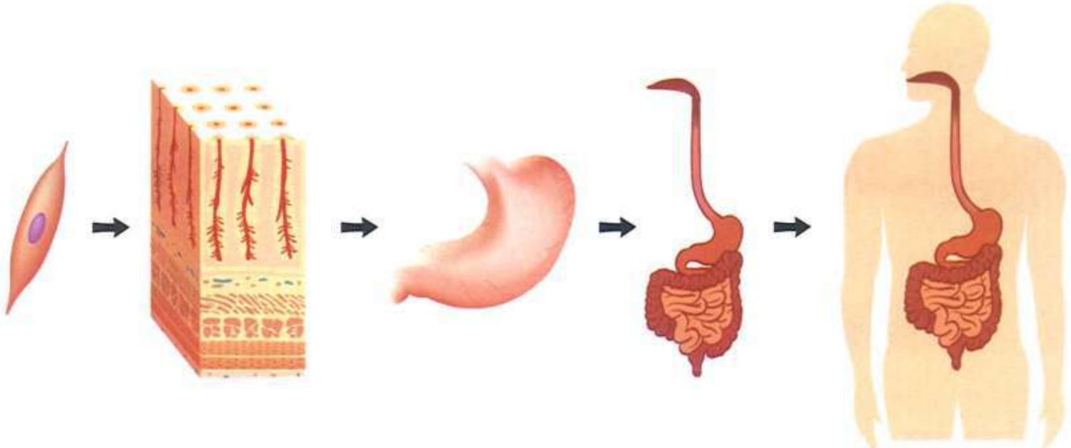
รู้หรือไม่

ในร่างกายคนประกอบด้วยเซลล์มากถึงหนึ่งล้านล้านเซลล์ (1,000,000,000,000 หรือ 10^{12} เซลล์) ซึ่งสามารถนำมาเรียงรอบโลกตามเส้นรอบวงได้ถึง 2 รอบ

ชวนคิด

ไวรัสเป็นสิ่งมีชีวิตหรือไม่ เพราะเหตุใด

เนื้อเยื่อประสาท กลุ่มของเนื้อเยื่อชนิดต่าง ๆ มีการทำงานประสานกันเป็น**อวัยวะ** (organ) เช่น หัวใจ ตับ ไต เป็นต้น อวัยวะต่าง ๆ เหล่านี้ต่างก็ประสานกันและทำงานกันเป็น**ระบบอวัยวะ** (organ system) เช่น ระบบหมุนเวียนเลือด ระบบขับถ่าย ระบบย่อยอาหาร เป็นต้น ระบบเหล่านี้จะมีการประสานกันและทำงานร่วมกันเพื่อให้ร่างกายของสิ่งมีชีวิตดำรงชีวิตอยู่ได้ ดังรูป 1.4



รูป 1.4 การจัดระบบภายในร่างกายสิ่งมีชีวิต

? การจัดระบบภายในเซลล์หรือภายในร่างกายของสิ่งมีชีวิตมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตนั้นอย่างไร

? สิ่งมีชีวิตยังมีลักษณะอื่นใดอีกหรือไม่ที่แสดงถึงความมีชีวิต ยกตัวอย่างประกอบ

1.1.2 ชีววิทยาคืออะไร

ชีววิทยา (biology) เป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นความรู้และส่วนที่เป็นกระบวนการค้นหาความรู้ ชีววิทยามาจากคำว่า **ชีวะ** (bios ภาษากรีก แปลว่าชีวิต) และ **วิทยา** (logos ภาษากรีก แปลว่าความคิดและเหตุผล) เนื่องจากสิ่งมีชีวิตมีอยู่เป็นจำนวนมากและมีความหลากหลายทั้งชนิดและจำนวน มีการกระจายตัวอยู่ตามที่ต่าง ๆ ทั่วโลก ชีววิทยาจึงแยกออกเป็นสาขาวิชาย่อยได้หลายแขนง นักวิชาการบางคนจัดจำแนกสาขาวิชาย่อย ๆ โดยยึดประเภทหรือกลุ่มของสิ่งมีชีวิต จึงอาจแบ่งเป็น **สัตววิทยา** (zoology) **พฤกษศาสตร์** (botany) **จุลชีววิทยา** (microbiology) ซึ่งในแต่ละแขนงอาจแยกรายละเอียดออกไปตามกลุ่มย่อยของสิ่งมีชีวิตอีก เช่น สัตววิทยา แยกเป็น**กีฏวิทยา** (entomology) **ปรสิตวิทยา** (parasitology) เป็นต้น



รูป 1.5 ตัวอย่างแขนงวิชาต่าง ๆ ในสาขาชีววิทยา

นอกจากนี้ยังมีสาขาวิชาที่ศึกษาสิ่งมีชีวิตในด้านต่าง ๆ เช่น **สรีรวิทยา** (physiology) เป็นการศึกษาการทำงานของระบบต่าง ๆ ในร่างกาย **พฤติกรรมศาสตร์** (ethology) เป็นการศึกษาพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิต **ชีวเคมี** (biochemistry) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับเคมีในสิ่งมีชีวิต **พันธุศาสตร์** (genetics) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับพันธุกรรม **กายวิภาคศาสตร์** (anatomy) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของร่างกาย **วิทยาเอ็มบริโอ** (embryology) เป็นการศึกษาพัฒนาการของเอ็มบริโอ **สัณฐานวิทยา** (morphology) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะของสิ่งมีชีวิต เป็นต้น

? มีแขนงวิชาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับวิชาชีววิทยาเพิ่มเติมอีกหรือไม่ ถ้ามีแขนงวิชานั้นคืออะไรบ้าง

? การนำความรู้ทางด้านชีววิทยาไปเชื่อมโยงกับศาสตร์ในวิชาอื่น ๆ จะได้ความรู้ใหม่ ๆ ทางด้านใดบ้าง อธิบายและยกตัวอย่างประกอบ

วิชาเหล่านี้เป็นผลมาจากการประมวลความรู้และกระบวนการค้นคว้า ซึ่งเป็นผลงานจากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์ทั้งหลายนับจากอดีตจนถึงปัจจุบัน ชีววิทยาจึงเป็นวิทยาศาสตร์สาขาใหญ่สาขาหนึ่งที่ศึกษาเกี่ยวกับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตและปฏิสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตกับสิ่งมีชีวิต และสิ่งมีชีวิตกับสิ่งแวดล้อม

1.1.3 ชีววิทยากับการดำรงชีวิต

มนุษย์อาศัยปัจจัยสี่เพื่อการดำรงชีวิต ไม่ว่าจะเป็น อาหาร ที่อยู่อาศัย เครื่องนุ่งห่มและยารักษาโรค ซึ่งปัจจัยสี่เหล่านี้ล้วนมีความเกี่ยวข้องกับชีววิทยาทั้งสิ้น ในปัจจุบันนี้พบว่าความรู้ทางด้านชีววิทยาได้รับการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ส่วนใหญ่เพื่อสนองตอบต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ เช่น การเพิ่มผลผลิตทางด้านอาหาร และการดูแลสุขภาพและการป้องกันโรคภัยไข้เจ็บต่าง ๆ ตลอดจนการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม สิ่งที่น่าสนใจก็คือในปัจจุบันนี้พบว่าความรู้ทางด้านชีววิทยาได้รับการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะทางด้านการแพทย์ ซึ่งมีการศึกษาสาเหตุของโรคที่เกิดจากสิ่งมีชีวิตนำไปสู่การศึกษาวิจัยตัวยาที่นำมาใช้รักษาโรคและวิธีป้องกันโรค หรือความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีทางดีเอ็นเอที่สามารถตัดต่อยีนจากสิ่งมีชีวิตในกระบวนการพันธุวิศวกรรม ซึ่งนำมาใช้ทางการแพทย์ เช่น ใช้แบคทีเรียผลิตฮอร์โมนอินซูลินเพื่อรักษาโรคเบาหวาน หรือสร้าง**โกรทฮอร์โมน** (growth hormone: GH) เพื่อรักษาเด็กที่เตี้ยกว่าปกติให้มีความสูงเป็นปกติ ใช้ยีนบำบัดในการรักษาโรคทางพันธุกรรมบางชนิด เป็นต้น

? ถ้าเกษตรกรมีความต้องการเพิ่มผลผลิตทางด้านการเกษตรให้ได้ผลผลิตที่มีทั้งปริมาณและคุณภาพ เพื่อสนองตอบต่อความต้องการในการบริโภค นักเรียนคิดว่าจะต้องใช้ความรู้ทางชีววิทยาแขนงใดบ้าง และนำความรู้นั้นมาใช้ในด้านใด

? ให้นักเรียนยกตัวอย่างโครงการพระราชดำริโครงการส่วนพระองค์ หรือโครงการหลวงของพระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช ที่ใช้ความรู้ทางด้านชีววิทยามาแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อม หรืออนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติ มา 2 ตัวอย่าง

รู้หรือไม่

พระบาทสมเด็จพระปรมินทรมหาภูมิพลอดุลยเดช ได้ทรงนำความรู้ทางด้านชีววิทยามาใช้ในการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมมากมายหลายโครงการ ดังเช่น ทรงใช้หญ้าแฝกซึ่งเป็นพืชที่มีรากยาวมาก แข็งแรงและหนาแน่น มาปลูกเพื่อช่วยป้องกันการกัดเซาะและการพังทลายของดินเพื่อใช้ประโยชน์ด้านการอนุรักษ์ดินและน้ำ และทรงแนะนำให้เผยแพร่แก่ประชาชนทั่วไปได้นำไปปลูกอย่างแพร่หลาย



1.1.4 ชีวจริยธรรม

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การศึกษาทางชีววิทยาเป็นการศึกษาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต ดังนั้นการนำความรู้ทางชีววิทยาไปใช้ย่อมส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตโดยตรง จึงต้องคำนึงถึงจริยธรรม และตระหนักถึงคุณค่าของสัตว์ว่าสัตว์เป็นสิ่งมีชีวิตเช่นเดียวกับมนุษย์

คำว่า **ชีวจริยธรรม** (bioethics) ประกอบด้วยคำที่มาจากภาษากรีก 2 คำคือ bios หมายถึง ชีวิต (life) และ ethicos หมายถึง ดี (good) หรือ เลว (bad) ถูก (right) หรือ ผิด (wrong) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ชีวจริยธรรมเกี่ยวข้องกับคุณค่าของชีวิตหรือการมีชีวิตนั่นเอง และเป็นส่วนประกอบหนึ่งของจริยธรรมที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาทางด้านชีววิทยา ในปัจจุบันมนุษย์เป็นผู้คิดค้นสิ่งต่าง ๆ ขึ้นมาก็เพื่อสนองตอบต่อปัจจัยต่าง ๆ ในการดำรงชีวิตของมนุษย์ในทุก ๆ ด้าน เช่น ด้านการแพทย์ อุตสาหกรรม เกษตรกรรม พาณิชยกรรม สถาปัตยกรรม วิศวกรรม ฯลฯ เป็นต้น ความก้าวหน้าในด้านต่าง ๆ เหล่านี้จะทำให้เกิดเป็นนวัตกรรมของโลกสมัยใหม่ที่ช่วยให้ประชากรโลกนับล้านล้านคนได้รับผลประโยชน์ ในขณะเดียวกันก็จะนำความเสี่ยงที่อาจจะเป็นอันตรายต่อมนุษย์ควบคู่มาด้วย จึงไม่แปลกเลยว่าเกือบจะทุกครั้งที่มีการเผยแพร่นวัตกรรมหรือความก้าวหน้าใหม่ ๆ เกิดขึ้น มักจะมีคำถามจากประเด็นต่าง ๆ มาให้คิดกันอยู่เสมอว่าเหมาะสมต่อการนำมาใช้หรือไม่ มีผลดีและผลเสียต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมอย่างไร เป็นต้น ดังนั้นการมีชีวจริยธรรมจะช่วยให้คนในสังคมทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องได้มีการวิเคราะห์และตัดสินใจอย่างรอบคอบในประเด็นคำถามต่าง ๆ ที่รัฐ องค์กร หรือชุมชนต้องเผชิญร่วมกัน

ปัจจุบันพบว่ายิ่งมีความก้าวหน้าทางด้านชีววิทยามากขึ้นเพียงใดก็จะมีประเด็นที่วิพากษ์วิจารณ์ในด้านชีวจริยธรรมมากขึ้นตามไปด้วย เช่น

- ความปลอดภัยทางด้านอาหาร พบว่าอาหารประเภทเนื้อสัตว์ที่นำมาบริโภค มักมีการใช้ฮอร์โมนฉีดให้แก่สัตว์เลี้ยง เช่น ไก่ สุกร เพื่อเร่งการเจริญเติบโต ทำให้มีสารพวกฮอร์โมนตกค้างในเนื้อสัตว์ที่นำมาเป็นอาหาร เมื่อคนบริโภคเข้าไปอาจก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ซึ่งเป็นผลร้ายต่อร่างกาย
- การใช้สารเคมีพวกที่เป็นสารพิษ เช่น ฟอร์มาลิน เพื่อรักษาพืชผักและเนื้อสัตว์ให้มีความสดและไม่เน่าเสีย รวมทั้งการใช้สารบอแร็กซ์ผสมในอาหารทำให้อาหารกรอบ หรือการใช้สีย้อมผ้าผสมอาหาร ซึ่งกระทรวงสาธารณสุขได้ประกาศเตือนถึงโทษภัยให้ประชาชนทราบแล้ว แต่ผู้ประกอบการค้าบางรายยังคงกระทำอยู่ จึงเป็นสิ่งที่ควรทำความเข้าใจให้ผู้ประกอบการค้าตระหนักถึงความรับผิดชอบต่อผู้บริโภค และได้รับการลงโทษตามกฎหมายถ้าฝ่าฝืน ส่วนประชาชนก็พึงหลีกเลี่ยงการบริโภคอาหารเหล่านี้

- ทางการแพทย์ มีประเด็นที่วิพากษ์วิจารณ์กันอย่างมากด้านชีวจริยธรรม เช่น การโคลนมนุษย์ อาจจะโคลนในระดับเอ็มบริโอเพื่อจะนำอวัยวะของเอ็มบริโอมาปลูกถ่ายให้แก่ผู้ป่วยหรือเพื่อการวิจัย หรือการโคลนมนุษย์ทั้งตัวเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณากันเป็นอย่างมาก เพราะว่าเอ็มบริโอก็คือเอ็มบริโอของมนุษย์ และถ้ามีมนุษย์ที่ได้จากการโคลนจะมีปัญหาต่อสถาบันครอบครัวอย่างไร และสิ่งที่ต้องพิจารณาอีกประการหนึ่งก็คือมีความเสี่ยงเพียงใดที่จะเกิดมนุษย์ที่มียีนผิดปกติจากกระบวนการโคลนที่ขาดประสิทธิภาพ หรือในกรณีที่นำความรู้ทางด้านชีววิทยามาใช้ในการทำลายล้าง เช่น การใช้สิ่งมีชีวิตที่ทำให้เกิดโรคต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช หรือสารพิษที่ได้จากสิ่งมีชีวิตมาทำลายล้างสิ่งมีชีวิต ซึ่งเรียกว่า อาวุธชีวภาพ ถือว่าเป็นเรื่องที่ผิดชีวจริยธรรม

ความรู้เพิ่มเติม

“จรรยาบรรณการใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์”
เนื่องจากในปัจจุบันมีงานหลายด้านที่เกี่ยวข้องกับการใช้สัตว์ เช่น งานวิจัย งานทดสอบ งานสอน และงานผลิตชีววัตถุ ทางสภาวิจัยแห่งชาติ จึงได้มีการกำหนด **“จรรยาบรรณการใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์”** ขึ้น เพื่อให้นักวิจัยและนักวิชาการได้ใช้เป็นแนวทางปฏิบัติในการใช้สัตว์อย่างถูกต้อง เหมาะสม

นิยาม : จรรยาบรรณการใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ หมายถึง หลักเกณฑ์ที่ผู้ใช้สัตว์และผู้เลี้ยงสัตว์เพื่องานวิจัย งานทดสอบ งานผลิตชีววัตถุ และงานสอน ในเชิงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกสาขายึดถือปฏิบัติ เพื่อให้การดำเนินงานตั้งอยู่บนพื้นฐานของจริยธรรม คุณธรรม มนุษยธรรม และหลักวิชาการที่เหมาะสม ตลอดจนเป็นมาตรฐานการดำเนินงานที่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วกัน

โดยมีรายละเอียดดังนี้
1. ผู้ใช้สัตว์ต้องตระหนักถึงคุณค่าของชีวิตสัตว์ ต้องใช้สัตว์เฉพาะกรณีที่ได้พิจารณาอย่างถี่ถ้วนแล้วว่าเป็นประโยชน์และจำเป็นสูงสุดต่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตของมนุษย์และสัตว์ และ/หรือความก้าวหน้าทางวิชาการ และได้พิจารณาอย่างถี่ถ้วนแล้วว่าไม่มีวิธีการอื่นที่เหมาะสมเท่าหรือเหมาะสมกว่า

2. ผู้ใช้สัตว์ต้องตระหนักถึงความแม่นยำของผลงานโดยใช้สัตว์จำนวนน้อยที่สุด ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติทางพันธุกรรมและ คุณสมบัติทางสุขภาพของสัตว์ที่จะนำมาใช้ให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และเป้าหมายของการใช้สัตว์ เพื่อให้มีการใช้สัตว์จำนวนที่น้อยที่สุด และได้รับผลงานที่ถูกต้องแม่นยำมากที่สุด
3. การใช้สัตว์ป่าต้องไม่ขัดต่อกฎหมายและนโยบายการอนุรักษ์สัตว์ป่า การนำสัตว์ป่ามาใช้ควรกระทำเฉพาะกรณีที่มีความจำเป็นต่อการศึกษาวิจัย โดยไม่สามารถใช้สัตว์ประเภทอื่นทดแทนได้ และการใช้สัตว์ป่านั้น จะต้องไม่ขัดต่อกฎหมายและนโยบายการอนุรักษ์สัตว์ป่า
4. ผู้ใช้สัตว์ต้องตระหนักว่าสัตว์เป็นสิ่งมีชีวิตเช่นเดียวกับมนุษย์ ผู้ใช้สัตว์ต้องตระหนักว่าสัตว์มีความรู้สึกเจ็บปวดและมีความรู้สึกตอบสนองต่อสภาพแวดล้อมเช่นเดียวกับมนุษย์ จึงต้องปฏิบัติต่อสัตว์ด้วยความระมัดระวังทุกขั้นตอน นับตั้งแต่การขนส่ง การใช้วัสดุอุปกรณ์ในการเลี้ยงสัตว์ การจัดการสภาพแวดล้อมของสถานที่เลี้ยง เทคนิคในการเลี้ยง และการปฏิบัติต่อสัตว์โดยไม่ให้สัตว์ได้รับความเจ็บปวด ความเครียด หรือความทุกข์ทรมาน
5. ผู้ใช้สัตว์ต้องบันทึกข้อมูลการปฏิบัติต่อสัตว์ไว้เป็นหลักฐานอย่างครบถ้วน ต้องปฏิบัติต่อสัตว์ตรงตามวิธีการที่เสนอไว้ใน โครงการ และต้องจดบันทึกไว้เป็นหลักฐานอย่างละเอียดครบถ้วน พร้อมที่จะเปิดเผยหรือชี้แจงได้ทุกโอกาส

(ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ)

นอกจากประเด็นที่กล่าวมาทั้งหมด มีอีกสิ่งหนึ่งนักชีววิทยาจำเป็นต้องมีจริยธรรมในการรายงานผลการศึกษาให้เป็นไปตามความเป็นจริง การรายงานผลที่ไม่ตรงกับความเป็นจริงอาจก่อให้เกิดความเสียหายรุนแรงได้ เช่น การวิจัยทางอาหารและยา หรือวิธีการทำกิจกรรมรักษาผู้ป่วย ถ้าผู้วิจัยรายงานผลอย่างมีอคติหรือเลือกรายงานเฉพาะข้อมูลที่สอดคล้องกับสมมติฐานของตน เมื่อมีผู้นำผลงานวิจัยไปใช้อาจทำให้การรักษาไม่ได้ผล หรืออาจทำให้ผู้ป่วยได้รับอันตราย เป็นต้น

? จากกิจกรรมการตอบสนองต่อสิ่งเร้าของไส้เดือนดิน และอุณหภูมิกับการรักษาดุลยภาพของปลา นักเรียนคิดว่าเกี่ยวกับจรรยาบรรณการใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ ข้อใดบ้าง

กิจกรรม 1.3 กรณีศึกษาที่เกี่ยวกับชีวจริยธรรม

จุดประสงค์

1. สืบค้นข้อมูล อภิปราย และยกตัวอย่างเกี่ยวกับชีวจริยธรรม
2. ตระหนักถึงการนำความรู้ทางชีววิทยาไปใช้ว่าต้องคำนึงถึงจริยธรรมและผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

วิธีการทำกิจกรรม

ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มเลือกศึกษากรณีศึกษาที่กำหนดให้ต่อไปนี้

1. การซื้อขายอวัยวะของมนุษย์ การขโมยอวัยวะของมนุษย์ เพื่อประโยชน์ทางด้านการแพทย์ในการรักษาคนไข้ ผิดหลักชีวจริยธรรมหรือไม่อย่างไร และวิเคราะห์ถึงสาเหตุและผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยให้เหตุผลประกอบ
2. การอุ้มบุญในกรณีของผู้ที่ต้องการมีบุตรแต่ไม่สามารถมีบุตรด้วยตนเองได้ ผิดหลักชีวจริยธรรมหรือไม่อย่างไร และวิเคราะห์ถึงสาเหตุและผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยให้เหตุผลประกอบ
3. กรณีของผู้ที่เป็นโรคเอดส์ หรือติดเชื้อ HIV ที่มีพฤติกรรมในการก่อเหตุด้วยความตั้งใจในการเผยแพร่เชื้อ HIV ไปสู่ผู้อื่น โดยการใช้เข็มฉีดยาที่ติดเชื้อไปจิ้มแทงผู้อื่น ผิดหลักชีวจริยธรรมหรือไม่อย่างไร และวิเคราะห์ถึงสาเหตุและผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยให้เหตุผลประกอบ

1.2 การศึกษาชีววิทยาและวิธีการทางวิทยาศาสตร์

1.2.1 การศึกษาชีววิทยา

ในชีวิตประจำวันของมนุษย์เกี่ยวข้องกับสิ่งต่าง ๆ มากมายทั้งทางตรงและทางอ้อม ส่วนใหญ่มักจะให้ความสำคัญกับเรื่องราว หรือสิ่งใดก็ตามที่จะส่งผลต่อตนเองไม่ว่าจะเป็นผลดีหรือผลเสีย เป็นเพราะว่าสิ่งที่จะมีอิทธิพลต่อการดำรงชีวิตมักจะได้รับความสนใจที่จะศึกษาหรือแก้ปัญหา สิ่งที่น่าสนใจก็คือ **มีวิธีการในการศึกษา หรือค้นหาคำตอบต่าง ๆ เหล่านี้ได้มาอย่างไร**

ดังที่ทราบแล้วว่าการศึกษาชีววิทยามีหลากหลายแขนง แต่ละแขนงก็มีการศึกษาแตกต่างกันไป **นักชีววิทยาโมเลกุล** (molecular biologist) จะสนใจศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานระดับโมเลกุลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิต เช่น สารพันธุกรรม และสารต่าง ๆ ภายในเซลล์ **นักเซลล์วิทยา** (cell biologist) สนใจศึกษาองค์ประกอบของเซลล์แต่ละชนิด กลุ่มของเซลล์ การเพาะเลี้ยงเซลล์ภายนอกร่างกายของสิ่งมีชีวิต ปฏิสัมพันธ์ระหว่างเซลล์ อิทธิพลของสิ่งแวดล้อมต่อเซลล์ **นักชีววิทยาประชากร** (population biologist) สนใจศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงขนาดของประชากร สาเหตุและผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงเหล่านั้น

? ให้นักเรียนยกตัวอย่างสิ่งที่นักเรียนเคยสนใจที่อยากจะเรียนรู้เกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต 1 ตัวอย่าง สิ่งนั้นศึกษาเกี่ยวกับอะไร และเกี่ยวข้องกับแขนงใดของวิชาชีววิทยา

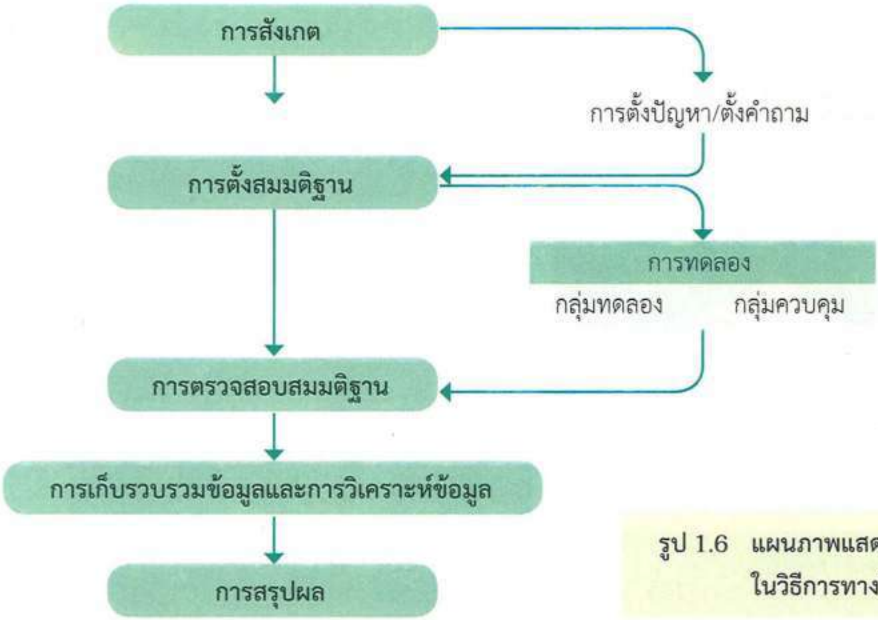
แม้ว่านักชีววิทยาสนใจที่จะศึกษาชีววิทยา ในสาขาที่แตกต่างกัน แต่การศึกษาของนักชีววิทยาย่อมมีวิธีการศึกษาหาความรู้คล้ายคลึงกัน และก็เหมือนนักวิทยาศาสตร์สาขาอื่น เช่นกัน ทราบหรือไม่ว่า**นักชีววิทยาศึกษาชีววิทยากันอย่างไร**

เชื่อมโยงกับอาชีพ

รุกขกร (arborist) หรือนักศัลยกรรมต้นไม้ใหญ่ (tree surgeon) เป็นอีกหนึ่งอาชีพที่หลายคนอาจจะยังไม่รู้จัก เป็นอาชีพที่มีหน้าที่จัดการและดูแลต้นไม้ใหญ่ (ปกติเป็นต้นไม้ใหญ่ในเมืองและในบริเวณอาคารสถานที่ รวมถึงไม้เลื้อยและไม้พุ่มมีแก่นที่เป็นไม้ยืนต้น) ซึ่งรวมถึงงานปลูก งานตัดแต่ง งานค้ำจุน งานป้องกันและรักษาโรคและแมลง หรือโรคพืชอื่น งานป้องกันการถูกฟ้าผ่า และงานโค่นต้นไม้ นอกจากนี้ยังรวมงานวางแผน งานให้คำปรึกษา การทำรายงาน และการเป็นพยานศาลในฐานะผู้เชี่ยวชาญ เนื่องจากต้นไม้ใหญ่มีคุณประโยชน์แก่มวลมนุษย์มาก แต่ต้นไม้ใหญ่ก็มีการดำรงชีวิตที่ซับซ้อน มีขนาดใหญ่โตและมีน้ำหนักมาก ต้นไม้ใหญ่ในเมืองจึงต้องการการเฝ้าระมัดระวังและการดูแลเพื่อเป็นการประกันความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน

1.2.2 วิธีการทางวิทยาศาสตร์

การศึกษาชีววิทยามีแนวทางเช่นเดียวกับการศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งมี**กระบวนการ** (process) ในการศึกษาเพื่อค้นหาคำตอบโดยใช้**วิธีการทางวิทยาศาสตร์** (scientific method) ที่เริ่มจาก**การสังเกต** (observation) **การตั้งสมมติฐาน** (hypothesis) **การตรวจสอบสมมติฐาน** (hypothesis testing) **การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล** (data collection and analysis) และ**การสรุปผล** (conclusion) สรุปได้ดังรูป 1.6



รูป 1.6 แผนภาพแสดงขั้นตอนในวิธีการทางวิทยาศาสตร์

การสังเกต

การสังเกตเป็นทักษะที่สำคัญอย่างหนึ่งของนักวิทยาศาสตร์ การสังเกตจะใช้ประสาทสัมผัส เช่น การมองเห็น การได้ยิน การรับรส การดมกลิ่น หรือการสัมผัส สิ่งที่ได้จากการสังเกตอาจนำไปสู่ความสงสัยอยากรู้ ทำให้ค้นพบปัญหาและการแก้ปัญหาต่อไป

จากการสังเกตสิ่งมีชีวิตรอบตัว อาจจะสงสัยว่า **นกบินได้อย่างไร ทำไมหิ่งห้อยจึงเรืองแสงได้ในเวลากลางคืน ผึ้งเมื่อดูดน้ำหวานจากดอกไม้แล้วบินกลับรังอย่างถูกต้องได้อย่างไร ตาของสุนัขสามารถจำแนกสีที่ต่างกันได้หรือไม่** คำถามเหล่านี้น่าสงสัยและท้าทายให้ค้นหาคำตอบอย่างยิ่ง นักวิทยาศาสตร์ตั้งปัญหาด้วยความอยากรู้อยากเห็น การเป็นคนช่างสังเกตจะช่วยให้สามารถตั้งคำถามได้รัดกุมและเป็นแนวทางสู่การค้นพบคำตอบอย่างเป็นระบบ ทั้งนี้นักเรียนสามารถฝึกการสังเกตและการตั้งคำถามได้จากการทำกิจกรรมต่อไปนี้

กิจกรรม 1.4 การสังเกตและการตั้งคำถาม

จุดประสงค์

1. สังเกตและบันทึกเกี่ยวกับลักษณะของสิ่งมีชีวิต
2. ตั้งคำถามเกี่ยวกับสิ่งที่นักเรียนสังเกตได้
3. เปรียบเทียบข้อมูลและคำถามของนักเรียนกับเพื่อน

วิธีการทำกิจกรรม

1. ให้นักเรียนเลือกศึกษาสิ่งมีชีวิตชนิดใดชนิดหนึ่งจากภาพ ก. - ค. ต่อไปนี้



2. สังเกตลักษณะของสิ่งมีชีวิตที่ศึกษาให้มากที่สุด
3. บันทึกสิ่งที่สังเกตได้ภายในเวลา 5 นาที
4. เขียนคำถามอย่างน้อย 2-3 ข้อ เกี่ยวกับสิ่งที่นักเรียนสังเกตได้
5. เปรียบเทียบข้อมูลและคำถามที่ได้จากการสังเกตของนักเรียนกับข้อมูลและคำถามของเพื่อนนักเรียนคนอื่น

คำถามท้ายกิจกรรม

? ข้อมูลที่นักเรียนบันทึกได้จากการสังเกต เมื่อเปรียบเทียบกับคนอื่นแล้ว มีข้อมูลละเอียดครบถ้วนหรือไม่ อย่างไร

? คำถามที่นักเรียนตั้งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเพื่อน ๆ แล้วเป็นอย่างไร

ลองทำดู

ให้นักเรียนสืบค้นข้อมูล การค้นพบและผลงานของนักวิทยาศาสตร์ไทย ที่เป็นผลมาจากการสังเกตและตั้งคำถามมาอย่างน้อย 1 ผลงาน

จากการทำกิจกรรมนักเรียนจะพบว่าเพื่อนของนักเรียนบางคนสังเกตได้เพียงเล็กน้อย แต่บางคนสังเกตได้รายละเอียดเป็นจำนวนมาก หรือได้ข้อมูลจากการสังเกตที่แตกต่างไปจากคนอื่น นักวิทยาศาสตร์เป็นผู้ที่มีทักษะในการสังเกตดี ดังนั้นนักเรียนจึงควรสังเกตสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่รอบตัวให้เป็นนิสัย ซึ่งจะทำให้นักเรียนกลายเป็นผู้ช่างสังเกตได้อย่างถี่ถ้วน และจะเป็นผู้ที่มีความรอบคอบมากขึ้น สามารถค้นพบปัญหา รู้จักตั้งคำถามที่ดี ค้นหาสาเหตุของปัญหาและวิธีแก้ปัญหาได้ด้วยตนเอง

อเล็กซานเดอร์ เฟลมิง (Alexander Fleming) รูป 1.7 นักจุลชีววิทยาชาวอังกฤษ สังเกตว่าแบคทีเรียในจานเพาะเชื้อไม่เจริญถ้ามีเชื้อราเพนิซิลเลียม *(Penicillium sp.)* เจริญอยู่ด้วย ดังรูป 1.8 เฟลมิงจึงเกิดความสงสัยและตั้งปัญหาว่า **เพราะเหตุใดจึงเป็นเช่นนั้น**

การค้นพบของเฟลมิงก่อให้เกิดประโยชน์อย่างมากต่อมนุษย์ในช่วงเวลาต่อมา ทำให้มีการสกัดสารปฏิชีวนะจากเชื้อราเพนิซิลเลียมใช้เป็นยารักษาโรคหลายโรคที่เกิดจากแบคทีเรีย



รูป 1.7 อเล็กซานเดอร์ เฟลมิง

? จากตัวอย่างการค้นพบเชื้อราเพนิซิลเลียมของเฟลมิง นักเรียนคิดว่าเฟลมิงมีสมบัติของนักวิทยาศาสตร์อย่างไรบ้าง

รู้หรือไม่

การสังเกต (observation) เป็นทักษะที่สำคัญที่นำไปสู่การค้นพบปัญหา และรวบรวมข้อมูล นักวิทยาศาสตร์ นักวิจัย และผู้ที่สามารถสังเกตได้อย่างละเอียด รอบคอบจะช่วยให้สามารถแก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็ว

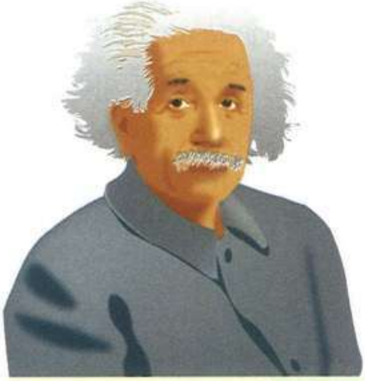


รูป 1.8 ก. เชื้อราเพนิซิลเลียมในจานเพาะเชื้อ
ข. บริเวณ clear zone ที่แบคทีเรียไม่เจริญถ้ามีราเพนิซิลเลียม

อันที่จริงนักชีววิทยาหลายคนก็เคยพบเชื้อราเพนิซิลเลียมในจานเพาะเชื้อแบคทีเรียบ่อย ๆ แต่ไม่ได้สนใจ เนื่องจากต้องการเลี้ยงเฉพาะแบคทีเรียบริสุทธิ์เพื่อใช้ในงานของตนจึงไม่ได้สังเกตเชื้อราที่ปนเปื้อนมา และไม่เกิดความสงสัยเหมือนกับที่เฟลมิงเคยสงสัย

ปัญหา (problem) มักเกิดจากการสงสัยที่ได้จากการสังเกตปรากฏการณ์และการศึกษาข้อเท็จจริงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น บางครั้งนักเรียนสามารถตั้งคำถามจากสิ่งที่สังเกตและพยายามคิดหาคำตอบที่อาจเป็นไปได้ที่เรียกว่า **สมมติฐาน** (hypothesis) บางครั้งนักเรียนไม่สามารถกำหนดสมมติฐานได้ทันที แสดงว่านักเรียนยังไม่เข้าใจปัญหา นักเรียนจำเป็นต้องสังเกตข้อเท็จจริงหรือค้นหาข้อมูลเพิ่มขึ้น เมื่อนักเรียนได้ข้อเท็จจริงมากพอนักเรียนจะเข้าใจปัญหาดีขึ้นถึงขั้นที่นักเรียนสามารถตั้งสมมติฐานได้ จึงอาจกล่าวได้ว่าปัญหาแนะการตั้งสมมติฐาน

แอลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein) รูป 1.9 นักวิทยาศาสตร์คนสำคัญของโลกได้กล่าวไว้ว่า **"การตั้งปัญหาย่อมสำคัญกว่าการแก้ปัญหา"** การตั้งปัญหาใหม่ ๆ และการกำหนดแนวทางที่อาจเป็นไปได้จากปัญหาเก่า ๆ ในทักษะใหม่ย่อมต้องอาศัยความคิดสร้างสรรค์ ซึ่งถือว่าเป็นความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์อย่างแท้จริง" รูป 1.9 แอลเบิร์ต ไอน์สไตน์


รูป 1.9 แอลเบิร์ต ไอน์สไตน์

? นักเรียนเห็นด้วยกับคำกล่าวของ ไอน์สไตน์ หรือไม่ เพราะเหตุใด

กิจกรรม 1.5 การตั้งคำถามจากสถานการณ์ที่เป็นปัญหา

จุดประสงค์

ฝึกทักษะการตั้งคำถามจากสถานการณ์ที่เป็นปัญหา

วิธีการทำกิจกรรม

ให้นักเรียนศึกษาสถานการณ์ต่อไปนี้

นักเรียนสองคนคั้นน้ำสับปะรดจากสับปะรด 2 ลูก ใส่ขวดแยกกันซึ่งมีน้ำเชื่อมบรรจุอยู่คนละขวดแล้วนำไปเก็บไว้ เมื่อนำน้ำสับปะรดที่เก็บไว้มาเพื่อจะดื่มพบว่าน้ำสับปะรดขวดหนึ่งมีฟองอากาศเกิดขึ้นมากกว่าอีกขวดหนึ่ง และเมื่อเปิดฝาขวดน้ำสับปะรดทั้ง 2 ขวด และดมกลิ่นพบว่าขวดที่มีฟองอากาศมากจะมีกลิ่นแอลกอฮอล์มากกว่าอีกขวดหนึ่ง

นักเรียนทั้งสองสงสัยว่า **เพราะเหตุใดในน้ำสับปะรดจึงมีฟองอากาศเกิดขึ้น เกิดกลิ่นแอลกอฮอล์ได้อย่างไร ฟองอากาศที่เกิดขึ้นเป็นฟองของแก๊สอะไร และเพราะเหตุใดทั้งสองขวดจึงมีปริมาณฟองอากาศแตกต่างกัน**

จากการค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติมพบว่า ฟองอากาศที่เกิดขึ้นในขวดน้ำสับปะรด เป็นฟองของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเกิดจากกระบวนการสลายน้ำตาลในน้ำสับปะรดของยีสต์

? จากสถานการณ์ที่เป็นปัญหานี้ นักเรียนคิดว่าคำถามที่อาจเป็นไปได้มีอะไรบ้าง

? ถ้ามีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมและพบว่าขวดน้ำสับปะรดทั้ง 2 ขวด ตั้งอยู่ในสภาพมีอุณหภูมิเท่ากัน ขนาดของขวด และรูปร่างของขวดเหมือนกันทุกประการ นักเรียนคิดว่ามีข้อมูลเพียงพอที่จะตั้งคำถาม ชัดเจนแล้วหรือไม่ ถ้ายังไม่ชัดเจนนักเรียนควรจะหาข้อมูลใดเพิ่มเติม แต่ถ้านักเรียนคิดว่าสามารถตั้งคำถามได้ชัดเจนแล้ว จงระบุคำถามว่า คำถามมีอะไรบ้าง

ลองทำดู

ให้นักเรียนยกตัวอย่างสถานการณ์จริงที่เกี่ยวกับชีววิทยา แล้ววิเคราะห์ว่า จากสถานการณ์ที่เป็นปัญหานี้ นักเรียนคิดว่าคำถามที่อาจเป็นไปได้มีอะไรบ้าง ตั้งคำถามมาอย่างน้อยคนละ 2 คำถาม

จากกิจกรรมดังกล่าวนี้ ตัวอย่างคำถามที่นักเรียนคิดที่อาจเป็นไปได้ เช่น

1. อุณหภูมิของสถานที่เก็บมีผลต่อการสลายน้ำตาลของยีสต์หรือไม่
2. ความเข้มข้นของน้ำตาลในน้ำสับปะรดมีผลต่อการสลายน้ำตาลของยีสต์หรือไม่
3. ปริมาณน้ำสับปะรดมีผลต่อการสลายน้ำตาลของยีสต์หรือไม่
4. ปริมาตรอากาศในขวดมีผลต่อการสลายน้ำตาลของยีสต์หรือไม่
5. ปริมาณยีสต์ในน้ำสับปะรดมีผลต่อการสลายน้ำตาลของยีสต์หรือไม่

การตั้งสมมติฐาน

เมื่อได้รับข้อเท็จจริงหรือข้อมูลมากพอทำให้เห็นปัญหาได้ชัดเจน ก็จะสามารถตั้งสมมติฐานได้ สำหรับผู้ที่มีความคิดหลายแง่หลายมุม อาจตั้งสมมติฐานได้มากกว่าหนึ่งสมมติฐาน สำหรับผู้ที่ไม่ได้ฝึกให้คิดหรือตั้งสมมติฐาน มักจะคิดว่าสมมติฐานที่ตั้งไว้เป็นสมมติฐานที่ถูกต้องเสมอ

เมื่อสังเกตต้นไม้ชนิดเดียวกันที่ปลูกในบริเวณที่ร่มเจริญไม่เท่ากับต้นที่อยู่กลางแจ้ง นักเรียนอาจสงสัยว่าอะไรทำให้ต้นไม้มีลักษณะเช่นนี้ ซึ่งข้อสงสัยอาจจะเป็นไปได้หลายประการ เช่น

1. ดินมีความชื้นมากหรือน้อยเกินไปหรือไม่
2. ธาตุอาหารในดินเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชหรือไม่
3. ปริมาณแสงเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืชหรือไม่

ถ้าสังเกตปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชชนิดนั้น ๆ อย่างละเอียด เช่น ความชื้น ธาตุอาหารในดิน ปริมาณแสง พบว่าความชื้นและธาตุอาหารในดิน ไม่น่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้พืชเจริญเติบโตแตกต่างกัน

? นักเรียนคิดว่าปัญหาคืออะไร และควรตั้งสมมติฐานอย่างไร

การตั้งสมมติฐานอาจใช้คำว่า **ถ้า**....................**ดังนั้น**......................
มีนักเรียน 2 คน ตั้งสมมติฐาน ดังนี้

- **นักเรียนคนที่** 1 ตั้งสมมติฐานว่า "**ถ้า**ความเข้มของแสง มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช **ดังนั้น**พืชที่อยู่กลางแจ้ง จะเจริญเติบโตดีกว่าพืชที่อยู่ในที่ร่ม"
- **นักเรียนคนที่** 2 ตั้งสมมติฐานว่า "**ถ้า**ความเข้มของแสงมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช **ดังนั้น**พืชที่เจริญเติบโตกลางแจ้ง ต้นจะสูงกว่าพืชที่อยู่ในที่ร่ม"

? จงวิเคราะห์สมมติฐานของนักเรียนทั้ง 2 คน ว่ามีข้อเหมือนและแตกต่างกันอย่างไร

การตั้งสมมติฐานที่ดีจะช่วยแนะแนวทางการตรวจสอบสมมติฐาน สมมติฐานของนักเรียนคนใดที่ช่วยแนะแนวทางการตรวจสอบ ให้ลองฝึกการตั้งสมมติฐานจากกิจกรรม 1.6

กิจกรรม 1.6 การตั้งสมมติฐาน

จุดประสงค์

ตั้งสมมติฐานจากปัญหาที่ตั้งขึ้นมา

วิธีการทำกิจกรรม

ให้นักเรียนแต่ละกลุ่มตั้งปัญหาจากกิจกรรม 1.5 และตั้งสมมติฐาน โดยใช้คำว่า **ถ้า**................................**ดังนั้น**................

? สมมติฐานมีความสำคัญในการแก้ข้อสงสัยทางวิทยาศาสตร์อย่างไร

ลองทำดู

ให้นักเรียนตั้งสมมติฐานจากสถานการณ์จริงที่เกี่ยวกับชีววิทยา จากกิจกรรม 1.5 มาอย่างน้อย 2 สมมติฐาน

ปัญหาเพียงปัญหาเดียวอาจมีสมมติฐานหลายข้อ แต่สมมติฐานไม่ใช่คำตอบของปัญหา จนกว่าจะได้มีการตรวจสอบสมมติฐานอย่างรอบคอบ **นักวิทยาศาสตร์ตรวจสอบสมมติฐานได้อย่างไร**

การตรวจสอบสมมติฐาน

การตรวจสอบสมมติฐานอาจทำได้หลายวิธี เช่น การเฝ้าสังเกต การสำรวจและการทดลอง เป็นต้น การเลือกใช้วิธีใดนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของสมมติฐาน ส่วนใหญ่การตรวจสอบสมมติฐานทางวิทยาศาสตร์มักใช้**การทดลอง** (experiment) เพราะสามารถควบคุม**ตัวแปร** (variable) ได้เป็นส่วนใหญ่ จึงทำให้ได้ข้อสรุปที่เชื่อถือซึ่งเรียกว่า **การทดลองที่มีการควบคุม** (controlled experiment)

ถ้านักเรียนกลุ่มหนึ่งมีสมมติฐานว่า "**ถ้า**ความเข้มข้นของน้ำตาลในน้ำสับปะรดมีผลต่อการสลายน้ำตาลของยีสต์แล้ว **ดังนั้น**ในน้ำสับปะรดที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลแตกต่างกัน อัตราการเกิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากปฏิกิริยาการสลายน้ำตาลในน้ำสับปะรดจะแตกต่างกันไปด้วย"

ก่อนจะทดลอง นักเรียนกลุ่มนี้ได้ไปค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม พบว่า ยีสต์สามารถเจริญได้ดีในสารละลายน้ำตาล เข้มข้นประมาณ 4-6 % จึงดำเนินการทดลอง ดังนี้

1. คั้นน้ำสับปะรดใส่ในขวดรูปชมพู่ ปริมาตร 40 ml เทสารละลายน้ำตาลที่มีความเข้มข้น 3% ลงไป 20 ml นำยีสต์ 2.5 กรัมใส่ลงไป คนให้เข้ากัน ปิดด้วยจุกยาง เก็บแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น เป็นเวลา 5 นาที
2. ปฏิบัติเช่นเดียวกับข้อ 1 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลเป็น 4-8%
3. ทำการทดลองในข้อ 1 และข้อ 2 ซ้ำอีก 2 ครั้ง รวมเป็น 3 ครั้ง

? จากการทดลองนี้ ตัวแปรต้น ตัวแปรตาม ตัวแปรที่ควบคุมคืออะไร

การเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

จากการเก็บข้อมูลของการทดลองดังกล่าวข้างต้น ได้ผลการทดลองดังนี้

ตาราง 1.2 ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นในหลอดทดลองที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลแตกต่างกัน

ความเข้มข้นของน้ำตาลที่เติมในน้ำสับปะรด (%)	ปริมาณแก๊ส CO_2 (mL)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4
3	2.90	3.20	3.40	3.17
4	3.30	3.50	3.50	3.43
5	3.80	3.90	3.80	3.83
6	3.90	4.20	4.00	4.03
7	4.20	4.40	4.30	4.30
8	4.00	4.50	4.40	4.30

? นักเรียนจะอธิบายผลการทดลองนี้อย่างไร
? ผลการทดลองนี้เชื่อถือได้หรือไม่อย่างไร
? เพราะเหตุใดจึงทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง จงอธิบาย
? ถ้าทำการทดลองอีกครั้ง ข้อมูลจะเหมือนเดิมหรือไม่อย่างไร
? ขั้นตอนใดในการทดลองนี้น่าจะทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อน และควรแก้ไขอย่างไร

การสรุปผลการทดลอง

จากข้อมูลที่ได้จากการทดลองนักเรียนกลุ่มนี้ควรสรุปได้ว่า ความเข้มข้นของน้ำตาลในน้ำสับปะรดมีผลต่ออัตราการสลายน้ำตาลของยีสต์

? การสรุปเช่นนี้สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่
? ผลการทดลองจำเป็นต้องสอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้เสมอไปหรือไม่
? ถ้าผลการทดลองไม่สอดคล้องกับสมมติฐานที่ตั้งไว้ นักเรียนควรจะดำเนินการอย่างไร

กิจกรรม 1.7 วิธีการทางวิทยาศาสตร์และการรายงานผลการทดลอง

จุดประสงค์

ฝึกทักษะการใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ และการรายงานผลการทดลอง

วิธีการทำกิจกรรม

จากที่ได้ศึกษาวิธีการทางวิทยาศาสตร์มาแล้ว ต่อไปนี้จะได้ปฏิบัติเหมือนนักวิทยาศาสตร์ โดยให้นักเรียนแต่ละกลุ่มเลือกปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ในกิจกรรม 1.6 ที่นักเรียนสนใจ แล้วดำเนินการดังนี้

1. กำหนดปัญหา
2. ตั้งสมมติฐานในรูป ถ้า............... ดังนั้น...............
3. ออกแบบการทดลอง และดำเนินการทดลอง
4. สรุปผลการทดลอง และนำเสนอการทดลองต่อชั้นเรียน

? จากผลการทดลองของนักเรียนและผลการทดลองของเพื่อน จะสรุปได้ว่าอย่างไร

? จากการทดลองนี้ น่าจะศึกษาในเรื่องใดเพิ่มเติมอีกบ้าง

ลองทำดู

ถ้าหากการทดลองของแต่ละกลุ่มได้ผลที่ไม่เหมือนกัน นักเรียนจะหาสาเหตุและรายงานผลการทดลองในประเด็นใดได้บ้าง

สมมติฐานที่ได้ผ่านการทดสอบแล้วหลายครั้งซึ่งอาจเป็นการทดสอบโดยนักวิทยาศาสตร์คนเดิม หรือนักวิทยาศาสตร์คนละคน แต่ทำงานในลักษณะคล้ายคลึงกัน ซึ่งอาจอยู่คนละสถานที่แต่ได้ผลตรงกัน และความรู้ที่ได้ค้นพบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างกว้างขวาง ก็จะนำไปตั้งเป็น**ทฤษฎี** (theory) หรือถ้าความรู้ที่ได้รับเป็นความจริงก็จะถูกนำไปตั้งเป็น**กฎ** (law) ในทางชีววิทยามีกฎและทฤษฎีที่สำคัญ เช่น กฎของเมนเดล ทฤษฎีเซลล์ ทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติ ซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาในโอกาสต่อไป

การศึกษาชีววิทยาของนักวิทยาศาสตร์ หรือนักชีววิทยาจึงทำให้เกิดความรู้ทางชีววิทยาซึ่งจะต้องผ่านกระบวนการสังเกต การทดลอง การบันทึกข้อมูลอย่างเป็นระบบ ดังนั้นชีววิทยาจึงประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็น**ความรู้** (knowledge) และ**กระบวนการ** (process)

? จากกิจกรรม 1.5 นักเรียนบอกได้หรือไม่ว่าส่วนใดบ้างที่จัดว่าเป็นความรู้ และส่วนใดบ้างที่จัดว่าเป็นกระบวนการ

? สมมติฐานต่างจากทฤษฎีอย่างไร

การศึกษาทางวิทยาศาสตร์เป็นการศึกษาที่มุ่งแสวงหาความจริงของธรรมชาติ เพื่อให้เกิดความเข้าใจการเกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ ตามธรรมชาติ ความรู้ที่ได้รับในขณะนี้เป็นความจริงในปัจจุบันแต่อาจเปลี่ยนแปลงได้ในอนาคต เมื่อเวลาและสถานที่เปลี่ยนไป หรือมีข้อมูลที่เป็นที่ยอมรับของนักวิชาการส่วนใหญ่มาเพิ่มเติม ดังกิจกรรมนักเรียนจะได้ศึกษาต่อไปนี้

กิจกรรม 1.8 การศึกษาการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ จากกรณีศึกษาการค้นพบแบคทีเรียที่เป็นสาเหตุหนึ่งของโรคกระเพาะอาหาร

จุดประสงค์

วิเคราะห์วิธีการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ จากกรณีศึกษาที่กำหนดให้

วิธีการทำกิจกรรม

1. ให้นักเรียนอ่านบทความเกี่ยวกับการค้นพบแบคทีเรีย *Helicobacter pylori* ที่เป็นสาเหตุของโรคกระเพาะอาหาร ดังต่อไปนี้

ในช่วงต้นทศวรรษที่ 1980 แพทย์และนักวิทยาศาสตร์มีความเชื่อว่า ความเครียดและรูปแบบการดำรงชีวิตของคนเป็นสาเหตุหลักของการเป็นโรคกระเพาะอาหาร ซึ่งเกิดจากการหลั่งกรดที่มากเกินไป การรักษาในสมัยนั้นคือการให้ยาลดกรดซึ่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจเนื่องจากสามารถรักษาอาการของโรคดังกล่าวได้ อย่างไรก็ตามเมื่อหยุดยาอาการของโรคก็กลับมาอีก ทำให้โรคกระเพาะอาหารจัดเป็นโรคเรื้อรัง และต้องได้รับการรักษาต่อเนื่อง

ในเวลาต่อมามีนักวิทยาศาสตร์ชาวออสเตรเลียชื่อ โรบิน วอร์เรน (Robin Warren) ได้สนใจที่จะศึกษาสาเหตุของการเป็นโรคกระเพาะอาหาร โดยได้ศึกษาชิ้นเนื้อเยื่อกระเพาะอาหารของผู้ป่วย พบว่าผู้ป่วยร้อยละ 50 มีแบคทีเรียชนิดหนึ่งที่มีรูปร่างเป็นเกลียวและมีแฟลเจลลาอยู่ในเนื้อเยื่อกระเพาะอาหารนั้น

จากการค้นพบของวอร์เรนดังกล่าวนี้ ทำให้นักวิทยาศาสตร์อีกคนหนึ่งชื่อแบร์รี่ มาร์แชล (Barry Marshall) ได้ทำการศึกษาต่อยอดจากวอร์เรน ต่อมาทำให้ทราบว่าแบคทีเรียดังกล่าวนี้คือ *Helicobacter pylori* โดยเขาได้ทำการศึกษาต่อกับคนไข้โรคกระเพาะอาหาร จำนวน 100 คน พบว่าผู้ป่วยที่มีแผลในกระเพาะอาหาร ร้อยละ 77 และผู้ป่วยที่มีแผลในลำไส้เล็กตอนต้น จะมีแบคทีเรีย *H. pylori* อยู่ในกระเพาะอาหาร เขาจึงตั้งสมมติฐานไว้ 2 ข้อว่า

1. **ถ้า**แบคทีเรีย *H. pylori* มีบทบาทในการก่อโรคกระเพาะอาหาร **ดังนั้น**เมื่อมนุษย์ได้รับแบคทีเรีย *H. pylori* และเกิดการติดเชื้อ มนุษย์คนนั้นจะเกิดอาการของโรคกระเพาะอาหาร
2. **ถ้า**รักษาผู้ป่วยโรคกระเพาะอาหารด้วยยาปฏิชีวนะซึ่งออกฤทธิ์ทำลายเชื้อแบคทีเรีย *H. pylori* **ดังนั้น**ผู้ป่วยจะหายขาดจากโรคดังกล่าว

ในการทดสอบสมมติฐานข้อแรก จำเป็นต้องมีการทดลองโดยให้มนุษย์รับแบคทีเรีย *H. pylori* และทำให้เกิดการติดเชื้อ ซึ่งพบว่าวิธีนี้จะมีความเสี่ยงในด้านจริยธรรมของการวิจัยเป็นอย่างมาก มาร์แชลจึงตัดสินใจใช้ตัวเขาเองเป็นผู้ทดลอง โดยการดื่มเครื่องดื่มที่มีแบคทีเรีย *H. pylori* ที่เขาเพาะเชื้อขึ้นมาเข้าสู่ร่างกาย จนในที่สุดมาร์แชลก็เกิดอาการของโรคกระเพาะอาหาร

ในการทดสอบสมมติฐานข้อที่สอง มาร์แชลได้ทำการทดลองกับคนไข้ 100 คนที่มีแผลในลำไส้เล็กตอนต้น และมีเชื้อแบคทีเรีย *H. pylori* อยู่ด้วย โดยเขาแบ่งกลุ่มคนไข้ออกเป็น 3 กลุ่ม และมีกลุ่มควบคุมอีก 1 กลุ่ม ดังนี้

กลุ่มควบคุม มาร์แชลให้คนไข้กลุ่มนี้ได้รับยาไซเมทิดีน (cimetidine) ซึ่งเป็นยาลดกรดในกระเพาะอาหาร ร่วมกับยาซึ่งไม่มีคุณสมบัติในการรักษาโรค เรียกว่า ยาหลอก (placebo) ยานี้ใช้ในการทดลองควบคุมผลที่อาจเกิดจากด้านจิตใจของคนไข้ โดยคนไข้จะรู้สึกว่าตนเองได้รับยารักษาโรคแล้ว

กลุ่มทดลองที่ 1 ให้คนไข้ได้รับยาไซเมทิดีน ร่วมกับยาปฏิชีวนะไทไนดาโซล (tinidazole)

กลุ่มทดลองที่ 2 ให้คนไข้ได้รับยาบิสมัทซึ่งเป็นยาเคลือบกระเพาะอาหารและมีฤทธิ์ในการทำลายเชื้อแบคทีเรีย ร่วมกับยาหลอก

กลุ่มทดลองที่ 3 ให้คนไข้ได้รับยาบิสมัทร่วมกับยาปฏิชีวนะไทไนดาโซล

ดังนั้นจากสมมติฐานข้อที่สองนี้ คนไข้กลุ่มทดลองที่ 3 ควรจะมีอาการดีขึ้นและหายขาดจากโรค หรือมีประสิทธิภาพในการรักษาดีที่สุด

มาร์แชลให้คนไข้ทั้ง 3 กลุ่มได้รับการรักษาด้วยยาดังกล่าว เป็นเวลา 8 สัปดาห์ จากนั้นหยุดให้ยาเป็นเวลา 2 สัปดาห์ แล้วตรวจอาการแผลในกระเพาะอาหาร จากนั้นมีการตรวจซ้ำเมื่อเวลาผ่านไป 3 เดือน 6 เดือน และ 12 เดือน เพื่อศึกษาว่าคนไข้จะกลับมาเป็นโรคนี้อีกครั้งหรือไม่ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า คนไข้ที่ยังมีการติดเชื้อแบคทีเรีย หลังการให้ยาจะกลับมาเป็นโรคอีกครั้ง ในขณะที่คนไข้ที่ได้รับยาที่ทำลายเชื้อแบคทีเรียจะไม่กลับมาเป็นโรคอีก

ผลงานการค้นพบของวอร์เรนและมาร์แชลดังกล่าวนี้ ทำให้เขาทั้งสองได้รับรางวัลโนเบล ปี พ.ศ. 2548 สาขาสรีรวิทยาหรือการแพทย์ เพราะการค้นพบแบคทีเรีย *H. pylori* ที่มีบทบาทในการก่อให้เกิดโรคกระเพาะอาหาร เป็นตัวบ่งชี้ได้ว่าสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดในกระเพาะอาหารไม่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดที่ไม่ก่อให้เกิดโรค การค้นพบของเขานี้จึงพลิกความรู้ในวงการแพทย์ไปอย่างสิ้นเชิง จนนำไปสู่การปรับเปลี่ยนวิธีการรักษาคนไข้ ทำให้คนไข้หายขาดจากโรคและลดอัตราการตายของคนไข้รวมไปถึงการลดงบประมาณมหาศาลในการรักษาได้ด้วย

2. ให้นักเรียนร่วมกันวิเคราะห์ และอภิปรายในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้
    2.1 ข้อมูลจากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์คนหนึ่งสามารถส่งผลต่อการตั้งคำถามของนักวิทยาศาสตร์อีกคนหนึ่งได้อย่างไร
    2.2 ความรู้ความเข้าใจทางวิทยาศาสตร์ส่งผลต่อการตั้งคำถามของนักวิทยาศาสตร์อย่างไร
    2.3 จากการศึกษาของมาร์แชลที่พบว่า ผู้ป่วยที่มีแผลในกระเพาะอาหารร้อยละ 77 และผู้ป่วยที่มีแผลในลำไส้เล็กตอนต้น มีแบคทีเรีย *H. pylori* ในกระเพาะอาหาร นำไปสู่การตั้งสมมติฐานที่สามารถทดสอบได้อย่างไร
    2.4 การศึกษาของมาร์แชล แสดงให้เห็นถึงการสำรวจตรวจสอบอย่างเป็นระบบ ถูกต้อง ครอบคลุมทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ อย่างไร
    2.5 มาร์แชลมีวิธีการทำกิจกรรมอย่างไรในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อตรวจสอบกับสมมติฐานที่ว่า "**ถ้า**รักษาผู้ป่วยโรคกระเพาะอาหารอักเสบด้วยยาปฏิชีวนะซึ่งออกฤทธิ์ทำลายเชื้อแบคทีเรีย *H. pylori* **ดังนั้น**ผู้ป่วยจะหายขาดจากโรคดังกล่าว"
    2.6 จากการศึกษาของวอร์เรน และมาร์แชล ส่งผลให้ความรู้เดิมเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร

ลองทำดู

ให้นักเรียนนำความรู้เกี่ยวกับชีวจริยธรรมมาใช้อภิปรายเกี่ยวกับกรณีที่มาร์แชลใช้ตนเองเป็นผู้ทดลองว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ อย่างไร

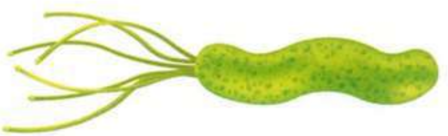
จากกิจกรรมดังกล่าวนี้จะเห็นได้ว่าในการศึกษาทางวิทยาศาสตร์หรือชีววิทยา นอกจากต้องอาศัยวิธีการทางวิทยาศาสตร์ แล้วยังต้องมีความเข้าใจและตระหนักในธรรมชาติของความรู้วิทยาศาสตร์ด้วยเช่นกัน ว่าสามารถเปลี่ยนแปลงได้และผลของการเปลี่ยนแปลงนั้นจะเป็นประโยชน์ต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ต่อไป

ในการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ ต้องใช้วิธีการที่หลากหลายในการเก็บรวบรวมข้อมูลและ**ประจักษ์พยานทางวิทยาศาสตร์** (scientific evidence) ในการทดสอบสมมติฐาน และต้องมีความอดทนต่ออุปสรรคและความยากลำบากในแต่ละขั้นตอนของการศึกษา หรือแม้กระทั่งความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในกระบวนการวิจัยทางวิทยาศาสตร์

นักเรียนสามารถนำวิธีการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ไปใช้ในการศึกษา ในการทำโครงงานในวิชาต่าง ๆ ได้ เพื่อฝึกกระบวนการคิด การวางแผนในการทำงานและการแก้ปัญหา ซึ่งจะเป็นพื้นฐานในการประกอบอาชีพ การดำรงชีวิต และการพัฒนาประเทศชาติได้ต่อไปในอนาคต

รู้หรือไม่

H. pylori เป็นแบคทีเรียที่มีรูปร่างแบบเกลียว และมีแฟลเจลลา สามารถปรับตัวอยู่ในสภาวะที่เป็นกรดในกระเพาะอาหารได้ โดยปล่อยเอนไซม์ยูรีเอส (urease) ส่งผลให้เกิดสภาพเป็นกลาง นอกจากนั้นแบคทีเรียชนิดนี้ยังสามารถผลิตสารพิษที่ทำลายเซลล์เม็ดเลือดขาว ทำให้เกิดการติดเชื้อเรื้อรัง



H. pylori

1.3 กิจกรรมสะเต็มศึกษาและกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

จากที่ทราบมาแล้วว่านักชีววิทยาใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ในการค้นหาคำตอบในสิ่งที่ต้องการจะศึกษา บางครั้งเรื่องที่ต้องการจะศึกษาไม่ได้ใช้ความรู้ทางชีววิทยาเพียงแขนงเดียวแต่มักจะเกี่ยวข้องกับความรู้ในแขนงอื่น ๆ ด้วย เช่น คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี เป็นต้น ในปัจจุบันนี้มีแนวทางการจัดการศึกษาที่บูรณาการความรู้ในด้านต่าง ๆ เข้าด้วยกันเพื่อเชื่อมโยงและแก้ปัญหาในชีวิตจริง **การศึกษาดังกล่าวนี้จะมีวิธีการทำกิจกรรมอย่างไร**

1.3.1 สะเต็มศึกษาคืออะไร

สะเต็มศึกษา (Science Technology Engineering and Mathematics Education: STEM Education) คือแนวทางการจัดการเรียนรู้ที่บูรณาการความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ (Science: S) เทคโนโลยี (Technology: T) วิศวกรรมศาสตร์ (Engineering: E) และคณิตศาสตร์ (Mathematics: M) ไปใช้ในการเชื่อมโยงและแก้ปัญหาในชีวิตจริงและการประกอบอาชีพในอนาคต รวมทั้งการพัฒนากระบวนการหรือผลผลิตใหม่ควบคู่ไปกับการพัฒนาทักษะแห่งศตวรรษที่ 21

สะเต็มศึกษาเป็นแนวทางการจัดการเรียนรู้แบบหนึ่งที่ส่งเสริมให้นักเรียนได้ใช้ทักษะการคิด โดยเฉพาะทักษะการคิดวิเคราะห์ ทักษะการคิดแก้ปัญหา และทักษะการคิดสร้างสรรค์ผ่านการทำกิจกรรม ที่มีจุดเริ่มต้นจากการมองเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันของนักเรียน และมีความต้องการจะแก้ปัญหานั้น ๆ โดยใช้องค์ความรู้ที่เกี่ยวข้องด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ซึ่งการแก้ปัญหานั้น ๆ อาจนำไปสู่การพัฒนานวัตกรรมในด้านต่าง ๆ ได้ เช่น ด้านการเกษตร อุตสาหกรรม พลังงาน การคมนาคม การจัดการสิ่งแวดล้อม เป็นต้น ตัวอย่างกิจกรรมตามแนวทางสะเต็มศึกษา เช่น กระติบข้าว ซึ่งเป็นการออกแบบภาชนะใส่ข้าวเหนียว ที่ทำให้สามารถเก็บความร้อนของข้าวไว้ได้นานที่สุด โดยกิจกรรมนี้ใช้ความรู้ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้แก่

ด้านวิทยาศาสตร์ เรื่อง การถ่ายโอนความร้อนและวัฏจักรของน้ำ

ด้านเทคโนโลยี เรื่อง การใช้เทคโนโลยีอย่างง่ายที่มนุษย์สร้างขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวก หรือตอบสนองความต้องการที่จะเก็บความร้อนและระบายไอน้ำของข้าว

ด้านวิศวกรรมศาสตร์ เรื่อง ลายสานและขนาดที่มีผลต่อการเก็บความร้อนและการระบายไอน้ำของกระติบ การออกแบบและพัฒนาลายของกระติบสามารถทำได้โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมด้านคณิตศาสตร์ เรื่อง เรขาคณิต รูปทรง การหาพื้นที่ผิว และปริมาตร

? การศึกษาตามแนวทางสะเต็มศึกษากับการศึกษาชีววิทยา มีจุดเริ่มต้นที่เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร



รูป 1.10 กระติบข้าวลายแบบต่าง ๆ

1.3.2 กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

การศึกษาตามแนวทางสะเต็มศึกษาใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเป็นเครื่องมือในการออกแบบกิจกรรมโดยมีขั้นตอนต่าง ๆ 6 ขั้นตอน ดังรูป 1.11



รูป 1.11 ขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

ขั้นตอนของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม ประกอบด้วย

1. ระบุปัญหา (problem identification) เป็นการทำความเข้าใจปัญหาหรือความท้าทาย วิเคราะห์เงื่อนไขหรือข้อจำกัดของสถานการณ์ปัญหา เพื่อกำหนดขอบเขตของปัญหาซึ่งจะนำไปสู่การสร้างชิ้นงานหรือวิธีการทำกิจกรรมในการแก้ปัญหา
2. รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา (related information search) เป็นการรวบรวมข้อมูลและแนวคิดทางวิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และเทคโนโลยี ที่เกี่ยวข้องกับแนวทางการแก้ปัญหาและประเมินความเป็นไปได้ ข้อดีและข้อจำกัด
3. ออกแบบวิธีการทำกิจกรรมแก้ปัญหา (solution design) เป็นการประยุกต์ใช้ข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องเพื่อการออกแบบชิ้นงานหรือวิธีการทำกิจกรรมในการแก้ปัญหา โดยคำนึงถึงทรัพยากร ข้อจำกัด และเงื่อนไขตามสถานการณ์ที่กำหนด
4. วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (planning and development) เป็นการกำหนดลำดับขั้นตอนของการสร้างชิ้นงานหรือวิธีการทำกิจกรรม แล้วลงมือสร้างชิ้นงานหรือพัฒนาวิธีการทำกิจกรรมเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา

5. ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการทำกิจกรรมแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (testing, evaluation and design improvement) เป็นการทดสอบและประเมินการใช้งานของชิ้นงานหรือวิธีการทำกิจกรรม โดยผลที่ได้อาจนำมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสมที่สุด
6. นำเสนอวิธีการทำกิจกรรมแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (presentation) เป็นการนำเสนอแนวคิดและขั้นตอนการแก้ปัญหาของการสร้างชิ้นงานหรือการพัฒนาวิธีการทำกิจกรรมให้ผู้อื่นเข้าใจและได้ข้อเสนอแนะเพื่อการพัฒนาต่อไป

? วิธีการทางวิทยาศาสตร์ และกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

ดังจะเห็นได้ว่ากระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมีขั้นตอนต่าง ๆ เช่นเดียวกับวิธีการทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งวิธีการทำกิจกรรมเหล่านี้จะใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาหรือทำกิจกรรม เพื่อค้นหาคำตอบหรือแก้ปัญหาได้เช่นเดียวกัน **นักเรียนสงสัยหรือไม่ว่ากิจกรรมสะเต็มศึกษาจะใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมในการศึกษาได้อย่างไร** นักเรียนจะได้ศึกษากิจกรรมดังต่อไปนี้

กิจกรรม 1.9 ถั่วงอกสร้างอาชีพ

จุดประสงค์

1. ออกแบบและทำการทดลอง เพื่อเพาะถั่วงอกให้ได้ลักษณะตามที่ต้องการ
2. อธิบายปัจจัยภายนอกที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ใช้ความรู้เกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด สภาพพักตัวของเมล็ด สารควบคุมการเจริญของพืช (ออกซิน ไซโทไคนิน กรดแอบไซซิก)
3. สามารถนำความรู้ทางคณิตศาสตร์และวิทยาศาสตร์มาใช้เลือกวัสดุที่ใช้ในการเพาะถั่วงอกโดยคำนึงถึงพื้นที่ในการปลูกรวมทั้งต้นทุนและกำไรที่ได้

วัสดุและอุปกรณ์

1. เมล็ดถั่วเขียว
2. เครื่องชั่ง
3. กรรไกรหรือมีด
4. ขวดพลาสติก
5. ตะกร้าพลาสติก
6. กะละมังพลาสติก
7. กระสอบป่าน
8. ตะแกรงไนลอน
9. ถุงดำ
10. ฝักบัวรดน้ำ
11. ถุงพลาสติก
12. ด้ายหรือเชือก
13. อุปกรณ์อื่น ๆ ที่เหลือใช้หาได้ในท้องถิ่น เช่น ขวดกาแฟ กระถางต้นไม้ โอ่งดินเผา

วิธีการทำกิจกรรม

1. ศึกษาภาพอาหารที่มีถั่วงอกเป็นส่วนประกอบ เช่น ผัดถั่วงอก หอยทอด ผัดไทย ออส่วน ก๋วยเตี๋ยว แล้วพิจารณาว่าถั่วงอกในอาหารต่าง ๆ นั้น มีลักษณะที่เหมือนหรือต่างกันอย่างไร
2. ศึกษาวีดิทัศน์เกี่ยวกับการเพาะถั่วงอกทางการค้า การเพาะถั่วงอกในครัวเรือนเพื่อประกอบอาหารแล้วร่วมกันอภิปรายเกี่ยวกับสถานการณ์ต่อไปนี้

การนำถั่วงอกมาประกอบอาหารนิยมใช้ถั่วงอกที่มีลักษณะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของอาหาร เช่น ผัดถั่วงอก ผัดไทย และก๋วยเตี๋ยวมักใช้ถั่วงอกที่อวบอ้วน แต่ออส่วนและกระเพาะปลามักใช้ถั่วงอกที่มีลักษณะผอมและยาว ต้นอ่อนถั่วผัดน้ำมันหอยใช้ถั่วงอกที่มีใบสีเขียว

ถ้ากำหนดให้ถั่วเขียวเริ่มต้น 0.5 กิโลกรัม และมีพื้นที่สำหรับเพาะถั่วงอก 0.5 ตารางเมตร ให้ได้กำไรจากการขายมากที่สุด และการเพาะถั่วงอกในครั้งนี้ผู้เพาะไม่มีเวลารดน้ำด้วยตนเอง ซึ่งโดยทั่วไปถั่วงอกต้องการน้ำทุก ๆ 2-3 ชั่วโมง ถั่วงอกที่เพาะได้ต้องมีลักษณะดังนี้

1. ถั่วงอกที่มีลักษณะผอมยาว ตรง อย่างน้อย 0.5 กิโลกรัม
2. ถั่วงอกที่มีลักษณะอวบสั้น อย่างน้อย 0.5 กิโลกรัม
3. ถั่วงอกที่มีใบสีเขียว อย่างน้อย 0.5 กิโลกรัม

*** โดยกำหนดให้ถั่วเขียว 0.5 กิโลกรัม สามารถเพาะเป็นถั่วงอกได้ประมาณ 3 กิโลกรัม พร้อมทั้งตอบคำถามข้อที่ 1 ในใบกิจกรรม

3. สืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับปัจจัยที่ทำให้ถั่วงอกมีลักษณะต่างๆ เช่น อวบสั้น ยาว มีสีต่าง ๆ และวิธีการทำกิจกรรมเพาะเพื่อให้ได้ถั่วงอกที่มีลักษณะตามต้องการ
4. ศึกษาใบความรู้ที่ 1 เรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด
5. ศึกษาใบความรู้ที่ 2 เรื่อง ตัวอย่างวิธีการทำกิจกรรมเพาะถั่วงอก
6. พิจารณาวัสดุและอุปกรณ์ที่ได้จัดเตรียมไว้ และออกแบบการเพาะถั่วงอกเพื่อให้ได้ถั่วงอกตามลักษณะที่ต้องการ โดยให้คำนึงถึงปัญหากรณีที่ผู้เพาะถั่วงอกไม่มีเวลารดน้ำต้องออกแบบระบบการรดน้ำด้วยพร้อมทั้งบันทึกการออกแบบลงในใบบันทึกกิจกรรม (อาจเขียนลงในกระดาษแผ่นใหญ่สำหรับเตรียมนำเสนอ)
7. เพาะถั่วงอกตามที่ได้ออกแบบไว้ พร้อมทั้งปรับปรุงแก้ไขวิธีการทำกิจกรรมเพาะถั่วงอก
8. บันทึกผลการเพาะถั่วงอก สรุป วิเคราะห์ผลการเพาะถั่วงอก และอภิปรายถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการเพาะถั่วงอก เพื่ออธิบายว่าการออกแบบและการเพาะถั่วงอก ได้ผลเป็นถั่วงอกที่มีลักษณะตามต้องการหรือไม่ อย่างไร และในกรณีที่การทดลองไม่เป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้จะมีวิธีการทำกิจกรรมปรับปรุงการทดลองอย่างไร
9. นำเสนอผลงาน โดยใช้ซอฟต์แวร์ประยุกต์ และร่วมกันอภิปรายแนวคิดในการเพาะถั่วงอกตามลักษณะที่ต้องการรวมทั้งอภิปรายเกี่ยวกับการเพาะเมล็ดอื่น ๆ เช่น ทานตะวันงอก ข้าวกล้องงอก ว่าเหมือนหรือแตกต่างจากการเพาะถั่วงอกอย่างไร
10. ประเมินผลงานและระบุแนวทางปรับปรุงแก้ไขวิธีการทำกิจกรรมเพาะถั่วงอก

? ถ้าต้องการเพาะถั่วงอกให้ได้ลักษณะตรงกับความต้องการของตลาดหรือผู้บริโภค ควรจะคำนึงถึงปัจจัยใดบ้าง

? ถ้านักเรียนได้เป็นผู้ผลิตถั่วงอกส่งขายให้กับตลาดแห่งหนึ่ง จากการทดลองที่ได้ทำมานี้ นักเรียนจะเสนอการวางแผนการเพาะถั่วงอกอย่างไรบ้าง โดยคำนึงถึงการคุ้มทุนและได้กำไรมากที่สุด

ใบบันทึกกิจกรรมถั่วงอกสร้างอาชีพ

1. จากสถานการณ์ที่กำหนดให้ระบุปัญหา และเงื่อนไข

....
....
....
....
....
....

2. ออกแบบการทดลองและทดลองเพาะถั่วงอกเพื่อให้ได้ถั่วงอกตามลักษณะที่ต้องการ

   2.1 ตัวแปรต้นของการทดลอง คือ ....
   ....
   2.2 ตัวแปรตามของการทดลอง คือ ....
   ....
   2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดพืชที่นำมาเพาะ
   ปัจจัยภายนอกคือ ....
   ปัจจัยภายในคือ ....

3. ระบุแนวคิดที่ใช้ในการออกแบบอุปกรณ์เพาะถั่วงอก

....
....
....
....
....
....

4. วาดภาพชุดการปลูกถั่วงอกที่ได้จากการออกแบบ พร้อมระบุเหตุผลที่เลือกใช้วัสดุและอุปกรณ์ชนิดนั้นๆ

5. ตารางบันทึกผลการทดลอง

ลักษณะถั่วงอก	ถั่วเขียวเริ่มต้น (กิโลกรัม)	ถั่วงอกที่ต้องการ (กิโลกรัม)	ถั่วเขียวที่ใช้จริง (กิโลกรัม)	ถั่วงอกที่ได้จากการเพาะ (กิโลกรัม)
ผอมยาว ตรง		0.5		
อวบสั้น		0.5		
ใบสีเขียว		0.5		

***กำหนดให้ถั่วเขียว 0.5 กิโลกรัม สามารถเพาะเป็นถั่วงอกได้ประมาณ 3 กิโลกรัม

ลักษณะถั่วงอก	ปัจจัยที่ทำให้ได้ถั่วงอกตามลักษณะที่ต้องการ			
ผอมยาว ตรง		0.5		
อวบสั้น		0.5		
ใบสีเขียว		0.5		

6. จากการทำกิจกรรมจงตอบคำถามต่อไปนี้
   6.1 วิธีการทำกิจกรรมคำนวณต้นทุนในการผลิตเป็นอย่างไร
   6.2 ในการเพาะถั่วงอกครั้งนี้ได้กำไรหรือขาดทุน อธิบาย
   6.3 ในกรณีที่ขาดทุนมีวิธีการทำกิจกรรมอย่างไร ที่จะทำให้ได้กำไร

   ....

   ....

   ....

ต้นทุนการผลิตในการเพาะถั่วงอก

ใบสั่งซื้อวัสดุและอุปกรณ์สำหรับเพาะถั่วงอก

ที่	รายการ	ราคา/หน่วย	จำนวนเงิน
1.	เมล็ดถั่วเขียว	40 บาท/กิโลกรัม	
2.	ขวดพลาสติก	1 บาท/ขวด	
3.	ตะกร้าพลาสติก	20 บาท/ชิ้น	
4.	กระสอบป่าน ขนาด 50 cm × 50 cm	10 บาท/ชิ้น	
5.	ตาข่ายพลาสติก ขนาด 50 cm × 50 cm	40 บาท/ชิ้น	
6.	ถุงดำ ขนาด 40 cm × 80 cm	1 บาท/ถุง	
7.	กะละมังพลาสติก	10 บาท/ชิ้น	
8.	ถุงพลาสติกใส ขนาด 20 cm × 30 cm	1 บาท/ถุง	
9.	อุปกรณ์อื่น ๆ ที่เหลือใช้ และหาได้ในท้องถิ่น เช่น ขวดกาแฟ กระถางต้นไม้ โอ่งดินเผา		
	รวม		

ราคาขายถั่วงอก

1. ถั่วงอกผอมยาวตรง ตัดราก ความยาวลำต้น 7 เซนติเมตร ราคา 60 บาท/กก.
2. ถั่วงอกอ้วนสั้น ความยาวลำต้น 3 เซนติเมตร / ราก 1-1.5 เซนติเมตร ราคา 30 บาท/กก.
3. ถั่วงอกใบสีเขียว ราคา 15 บาท/กก.



ถั่วงอกผอมยาวตรง



ถั่วงอกอ้วนสั้น



ถั่วงอกใบสีเขียว

ใบความรู้ที่ 1 ปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ด

พืชเศรษฐกิจหลายชนิดของไทยยังคงต้องขยายพันธุ์ด้วยเมล็ด ดังนั้นในการเพาะเมล็ดจึงจำเป็นต้องศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการงอกของเมล็ดพืช โดยปกติเมล็ดพืชที่แก่เต็มที่จะมีความชื้นต่ำ มีอัตราการหายใจต่ำและมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในเมล็ดน้อยมาก ดังนั้นเมล็ดจำเป็นต้องได้รับปัจจัยบางอย่างที่เหมาะสมจึงจะงอกได้ดังต่อไปนี้

1. โครงสร้างของเมล็ด เมล็ดต้องมีชีวิต คือ เมล็ดนั้นยังมีชีวิตอยู่และสามารถที่จะงอกได้ ถ้าเก็บเมล็ดพืชไว้นาน ๆ เมล็ดพืชจะหมดอายุทำให้เพาะไม่งอก หรือมีอัตราการงอกต่ำ
2. น้ำหรือความชื้น เมื่อเมล็ดได้รับน้ำ เปลือกหุ้มเมล็ดจะอ่อนตัวลง ทำให้น้ำและออกซิเจนผ่านเข้าไปในเมล็ดได้มากขึ้น เมล็ดจะดูดน้ำเข้าไปทำให้เมล็ดพองตัวขยายขนาด และมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น น้ำจะเป็นตัวกระตุ้นปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่าง ๆ ภายในเมล็ดมีการกระตุ้นการสร้างเอนไซม์เพื่อย่อยสลายสารอาหารที่สะสมในเมล็ด เอนไซม์ที่เกิดขึ้นในเมล็ด เช่น อะไมเลส จะย่อยแป้งให้เป็นมอลโทส โปรตีเอส จะย่อยโปรตีนให้เป็นกรดอะมิโน ทั้งมอลโทสและกรดอะมิโนละลายน้ำได้ และแพร่เข้าไปในเอ็มบริโอเพื่อใช้ในการหายใจและการเจริญเติบโต นอกจากนี้น้ำยังเป็นตัวทำละลายสารอื่น ๆ ที่สะสมในเมล็ดและช่วยในการลำเลียงสารอาหารไปให้เอ็มบริโอใช้ในการงอก
3. ออกซิเจน เมล็ดขณะงอกมีอัตราการหายใจสูง ต้องการออกซิเจนไปใช้ในกระบวนการสลายสารอาหารเพื่อให้ได้พลังงานซึ่งจะนำไปใช้ในกระบวนการเมแทบอลิซึมต่าง ๆ ของเซลล์ แต่มีพืชบางชนิด เช่น พืชน้ำสามารถงอกได้ดีในออกซิเจนต่ำ ความชื้นสูง เพราะสลายสารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ แต่เมล็ดหลายชนิดจะไม่งอกเลย ถ้าออกซิเจนไม่เพียงพอ แม้ความชื้นจะสูง เช่น เมล็ดวัชพืชหลายชนิดที่ฝังอยู่ในดินลึก ๆ เมื่อไถพรวนดินให้เมล็ดขึ้นมาอยู่ใกล้ผิวดิน จึงจะงอกได้
4. อุณหภูมิ เมล็ดพืชแต่ละชนิดต้องการอุณหภูมิที่เหมาะสมในการงอกแตกต่างกัน เช่น เมล็ดพืชเขตหนาวจะงอกได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 10-20 องศาเซลเซียส เช่น หอมหัวใหญ่และผักกาดหัว งอกได้ดีที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส แต่ก็มีบางชนิดต้องการอุณหภูมิในช่วงกลางวันและกลางคืนที่ต่างกัน หรือให้อุณหภูมิต่ำสลับกับอุณหภูมิสูง การงอกจะเกิดดี เช่น บวบเหลี่ยม ถ้าให้อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 16 ชั่วโมง สลับกับอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมงเมล็ดจึงจะงอกได้ดี

5. แสง เป็นปัจจัยหนึ่งที่ควบคุมการงอกของเมล็ด เมล็ดพืชบางชนิดจะงอกได้ต่อเมื่อมีแสง เช่น วัชพืชต่าง ๆ หญ้า ยาสูบ ผักกาดหอม สาบเสือ ปอต่าง ๆ เป็นต้น เมล็ดพืชอีกหลายชนิดไม่ต้องการแสงในขณะงอก เช่น กระเจี๊ยบ แตงกวา ผักบุ้งจีน ฝ้าย ข้าวโพด เป็นต้น

พืชบางชนิด เช่น มะม่วง ลำไย ขนุน ทุเรียน ระกำ ฯลฯ เมื่อผลเหล่านี้แก่เต็มที่แล้วนำเมล็ดไปเพาะในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมก็จะงอกเป็นต้นใหม่ได้ แต่บางชนิด เช่น แตงโม เมื่อผลแก่เต็มที่แล้วนำเมล็ดไปเพาะ ถึงแม้สภาพแวดล้อมเหมาะสมต่อการงอกแต่เมล็ดก็ไม่สามารถงอกเป็นต้นใหม่ได้ เรียกว่า มีการพักตัวของเมล็ด (seed dormancy)

สภาพพักตัวของเมล็ด (dormancy)

1. เปลือกหุ้มเมล็ดไม่ยอมให้น้ำซึมผ่าน เข้าไปยังส่วนต่าง ๆ ของเมล็ด เนื่องจากเปลือกหุ้มเมล็ดหนาหรืออาจมีสารบางชนิดหุ้มอยู่ เช่น คิวทิน หรือ ซูเบอริน ในธรรมชาติเมล็ดพืชบางชนิดที่หนาและแข็งจะอ่อนตัวลงโดยการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดินหรือการที่เมล็ดผ่านเข้าไปในระบบย่อยอาหารของสัตว์ที่เลี้ยงลูกด้วยนมหรือนก เช่น เมล็ดโพธิ์ เมล็ดไทร เมล็ดตะขบ หรืออาจแตกออกด้วยแรงขัดถูหรือถูกไฟเผา เช่น เมล็ดพืชวงศ์หญ้า วงศ์ไผ่บางชนิด เมล็ดตะเคียน เมล็ดสัก
   วิธีการแก้การพักตัวของเมล็ดจากสาเหตุนี้ อาจทำได้โดยการแช่น้ำร้อน หรือแช่ในสารละลายกรด เพราะจะทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดอ่อนนุ่ม การใช้วิธีกลโดยการทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดแตกออกมีหลายวิธี เช่นการเฉือนเปลือกแข็งบางส่วนของเมล็ดมะม่วงหรือวิธีนำไปให้ความร้อนโดยการเผา หรือการใช้ความเย็น สลับกับความร้อนซึ่งมักจะเก็บไว้ในที่อุณหภูมิต่ำระยะหนึ่งแล้วจึงนำเมล็ดไปเพาะ
2. เปลือกหุ้มเมล็ดไม่ยอมให้แก๊สออกซิเจนแพร่ผ่าน การพักตัวแบบนี้มีน้อย ส่วนใหญ่เป็นพืชวงศ์หญ้าเป็นการพักตัวในระยะสั้น ๆ เก็บไว้ระยะหนึ่งก็สามารถนำไปเพาะได้ วิธีการแก้การพักตัวอาจทำได้โดยการเพิ่มแก๊สออกซิเจนหรือใช้วิธีกลทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดแตก
3. เอ็มบริโอของเมล็ดยังไม่เจริญเติบโตเต็มที่ เมล็ดไม่สามารถจะงอกได้ต้องรอเวลาช่วงหนึ่งเพื่อให้เอ็มบริโอมีการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี รวมไปถึงการเจริญพัฒนาของเอ็มบริโอให้แก่เต็มที่

4. สารเคมีบางชนิดยับยั้งการงอกของเมล็ด เช่น สารที่มีลักษณะเป็นเมือกหุ้มเมล็ดมะเขือเทศ ทำให้เมล็ดไม่สามารถงอกได้ จนกว่าจะถูกชะล้างไปจากเมล็ด การแก้การพักตัวของเมล็ด อาจล้างเมล็ดก่อนเพาะหรือการใช้สารเร่งการงอก เช่น จิบเบอเรลลิน (gibberellin) นอกจากนี้ เมล็ดพืชในเขตหนาวของโลก เช่น แอปเปิ้ล เชอรี่ ต้องมีการปรับสภาพภายใน โดยการผ่านฤดูหนาวที่มีอุณหภูมิต่ำและมีความชื้นสูงจึงจะงอก เพราะอุณหภูมิที่ต่ำนี้ทำให้ปริมาณของกรดแอบไซซิก (abscisic acid) ที่ยับยั้งการงอกของเมล็ดลดลงได้ในขณะที่จิบเบอเรลลิน หรือไซโทไคนิน (cytokinin) ที่ส่งเสริมการงอกของเมล็ดจะเพิ่มขึ้น

เมล็ดบางชนิดไม่ปรากฏว่ามีระยะพักตัวเลย บางชนิดอาจจะมีระยะพักตัวสั้นมากจนสังเกตไม่ได้ เมล็ดของพืชเหล่านี้ สามารถงอกได้ทันที บางชนิดงอกได้ทั้ง ๆ ที่เมล็ดยังอยู่ในผลหรือบนลำต้น เช่น เมล็ดขนุน เมล็ดโกงกาง เมล็ดมะละกอ เมล็ดมะขามเทศ เป็นต้น

ใบความรู้ที่ 2 ตัวอย่างวิธีการทำกิจกรรมเพาะถั่วงอก

หลักการพื้นฐานของการเพาะถั่วงอกมีดังนี้

1. เมล็ดถั่วที่นำมาเพาะนิยมใช้ถั่วเขียว จะเลือกใช้แบบผิวมันที่เปลือกสีเขียว หรือแบบผิวดำก็ได้แต่ควรเลือกเมล็ดใหม่ สะอาด เพราะจะงอกดีกว่า สิ่งสำคัญคือต้องนำเมล็ดไปแช่ในน้ำอุ่นก่อนนานประมาณ 6-8 ชั่วโมง เพื่อแก้ไขสภาพพักตัวของเมล็ดช่วยกระตุ้นให้เมล็ดถั่วงอกได้ดีขึ้น
2. ภาชนะ ควรเป็นภาชนะที่ทึบแสง หรือมีฝาปิด หรือห่อหุ้มด้วยวัสดุทึบแสง และควรมีรูระบายน้ำทั้งด้านล่าง และด้านข้างที่สำคัญต้องเป็นภาชนะที่สะอาด
3. น้ำ น้ำที่ใช้รดจะต้องเป็นน้ำสะอาด และต้องได้รับน้ำอย่างสม่ำเสมอและเพียงพอ เพื่อให้เจริญเติบโตอย่างสมบูรณ์ อีกทั้งยังเป็นการช่วยระบายความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการงอกด้วย หากรดน้ำมากไปจะทำให้เมล็ดถั่วเน่า แต่หากรดน้ำน้อยไปเมล็ดถั่วจะแห้งและตายได้
4. วัสดุเพาะควรจะเลือกใช้วัสดุเพาะที่ที่เก็บความชื้นได้ดี หรือหาง่าย เช่น ฟองน้ำ กระสอบป่าน ตะแกรงที่ไม่เป็นสนิม
5. ความชื้น ควรเพาะในที่แห้ง ระบายอากาศได้ดี ถ้าในฤดูฝน ความชื้นในอากาศสูงทำให้ถั่วงอกชื้นและขึ้นราได้ง่าย
6. แสง ทำให้ถั่วงอกมีใบสีเขียว ลำต้นผอมยาว ดังนั้นภาชนะที่ใช้เพาะถั่วงอกจึงควรทึบแสง หรือตั้งภาชนะไว้ในที่มืด หรือห่อหุ้มด้วยวัสดุทึบแสง

ตัวอย่างวิธีการทำกิจกรรมเพาะถั่วงอก เช่น การเพาะถั่วงอกแบบมีราก กับถั่วงอกแบบตัดราก ส่วนภาชนะที่ใช้เพาะสามารถเลือกได้ตามความเหมาะสมและความต้องการ

การเพาะถั่วงอกแบบมีรากในขวดกาแฟ

วัสดุและอุปกรณ์

1. ขวดกาแฟชนิดใสหรือชนิดสีชา
2. ผ้าไนลอนหรือผ้าขาวบาง กว้าง 4 นิ้ว ยาว 5 นิ้ว
3. ถั่วเขียว
4. หนังยาง
5. ถุงกระดาษหรือถุงดำทึบแสง



วิธีการทำกิจกรรม

1. ล้างถั่วเขียวด้วยน้ำสะอาด แช่ในน้ำอุ่น อย่างน้อย 6-8 ชั่วโมง
2. นำถั่วเขียวมาล้างในน้ำสะอาด จากนั้นใส่ขวดกาแฟ ใช้ผ้าไนลอน หรือผ้าขาวบางปิดปากขวด ใช้หนังยางรัดให้แน่น
3. วางขวดในแนวนอน เขย่าให้เมล็ดถั่วเขียวกระจายทั่วพื้นขวด วางไว้ในที่มืด หรือใส่ไว้ในถุงกระดาษหรือถุงดำทึบแสง
4. เปิดน้ำใส่ขวด และเทน้ำทิ้งทุก ๆ 3-4 ชั่วโมง แล้วเก็บไว้ในที่มืดเหมือนข้อ 3.
5. ประมาณ 3 วัน ก็สามารถนำถั่วงอกมารับประทานได้

การเพาะถั่วงอกแบบมีรากในขวดน้ำดื่ม

วัสดุและอุปกรณ์

1. ขวดน้ำดื่มพลาสติก เจาะรูด้านที่วางติดพื้น ประมาณ 10-12 รู
2. หัวแร้ง สำหรับเจาะรู
3. กรรไกร
4. ตะแกรงไนล่อนหรือตะแกรงเกล็ดปลา สำหรับหุ้มรอบขวดเพื่อใช้พรางแสง
5. ฝาขวดน้ำ เจาะรู (โดยใช้หัวแร้ง) ด้านบนของฝาขวด 3 หรือ 4 รู
6. หนังยาง สำหรับรัดตะแกรงไนล่อนรอบขวดพลาสติก
7. ถุงดำ ใช้ขนาดให้เหมาะสมกับขวดที่เพาะถั่วงอก
8. มีดคัตเตอร์

วิธีการทำกิจกรรม

1. นำถั่วเขียวมาใส่ในขวด ในปริมาณเท่ากับ 1 ข้อของขวด จากนั้นใส่น้ำในขวดเพื่อล้างถั่วเขียวด้วยประมาณ 2 ครั้ง เทน้ำทิ้ง
2. ใส่น้ำร้อน (100 องศาเซลเซียส) 1 ส่วน นำมารวมกับน้ำธรรมดา 3 ส่วน จะได้น้ำที่อุณหภูมิประมาณ 40-45 องศาเซลเซียส ให้ใส่น้ำที่ผสมกันลงไปในขวด ให้น้ำท่วมถั่วเขียว ให้แช่ถั่วเขียวในลักษณะขวดตั้งตรง เป็นระยะเวลา 6-8 ชม.
3. นำถั่วเขียวมาล้างด้วยน้ำธรรมดา 1-2 ครั้ง จากนั้นวางขวดในแนวนอน
4. นำตะแกรงไนล่อนที่ได้ตัดไว้แล้วมาหุ้มรอบขวดเพื่อป้องกันแสง โดยให้ปลายตะแกรงไนล่อนด้านหนึ่งเสียบเข้าไปด้านข้างของขวดที่เจาะเป็นรูปสี่เหลี่ยม

5. รดน้ำถั่วเขียว ประมาณ 3 ครั้งต่อวัน คือ เช้า เที่ยงวัน เย็น
6. การรดน้ำแต่ละครั้งเมื่อเสร็จแล้ว ให้เอาขวดที่เพาะ วางเป็นแนวนอนลงในถุงดำ จากนั้นให้รวบปากถุง และแขวนถุงไว้ ตัดปลายถุงเพื่อระบายน้ำที่รด
7. ประมาณ 3 วัน ก็สามารถนำถั่วงอกมารับประทานได้

การเพาะถั่วงอกแบบตัดรากในตะกร้าหรือถังพลาสติก

วัสดุและอุปกรณ์



1. ถังพลาสติกสีทึบ เจาะรูที่ก้นถังหลาย ๆ รู เพื่อระบายน้ำ และเจาะรูที่ด้านข้าง เป็นระยะ ๆ เพื่อระบายอากาศ หรืออาจใช้ตะกร้าแทนถังพลาสติก
2. กระสอบป่านตัดเป็นวงกลมขนาดเท่าปากถัง
3. ตะแกรงไนล่อนตาถี่รูขนาดเล็กกว่าเมล็ดถั่วเขียว ตัดเป็นวงกลมขนาดเท่าปากถัง
4. เมล็ดถั่วเขียว
5. ถุงดำ

วิธีการทำกิจกรรม

1. แช่เมล็ดถั่วเขียวในน้ำอุ่น ทิ้งไว้ 6-8 ชั่วโมง คัดเมล็ดที่ลอยน้ำทิ้งไป
2. นำกระสอบวางลงไปในถัง และวางตะแกรงไนล่อนทับ
3. โรยเมล็ดถั่วลงไปบนตะแกรงไนล่อน เกลี่ยให้กระจายทั่วแผ่น ให้เมล็ดถั่วเขียวซ้อนกันประมาณ 3-4 เมล็ด อย่าให้แน่นมากจนเกินไป
4. นำกระสอบป่านที่ตัดไว้มาวางทับเมล็ดถั่วเขียวชั้นที่ 1 แล้วนำตะแกรงไนล่อนวางทับกระสอบป่าน โรยเมล็ดถั่วเขียวลงไปทำให้ครบ 3 ชั้น แล้วปิดด้านบนด้วยกระสอบป่านอีกครั้ง
5. รดน้ำจนน้ำไหลออกมาที่บริเวณก้นถัง เพื่อเป็นการช่วยระบายความร้อน นำไปไว้ในที่ร่ม ถ้าใช้ตะกร้าให้ใช้ถุงดำห่อหุ้มก่อนจะนำไปวางในที่มืด
6. ประมาณ 3 วัน ก็สามารถนำถั่วงอกแต่ละชั้นมาตัดราก โดยตัดที่โคนต้นถั่วงอกซึ่งอยู่ติดกับตะแกรงไนล่อน ก็จะได้ถั่วงอกไร้รากพร้อมรับประทาน

ชวนคิด

ข้อมูลการวิจัยสารอาหารในเมล็ดถั่วชนิดต่าง ๆ มีดังนี้

ชนิดถั่ว	ความชุ่มชื้น	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	ลิพิด
ถั่วลันเตา				
ไม่งอก	18.89	27.94	37.78	7.58
งอก	57.76	21.31	15.40	1.76
ถั่วเขียว				
ไม่งอก	16.53	22.32	46.09	5.69
งอก	62.73	15.28	15.79	0.89
ถั่วเหลือง				
ไม่งอก	8.00	37.37	30.88	20.07
งอก	57.05	17.99	17.85	4.61

จากข้อมูลในตารางดังกล่าวนี้

1. สารอาหารในเมล็ดถั่วแต่ละชนิดที่งอกกับเมล็ดถั่วที่ไม่งอกมีความแตกต่างกันอย่างไร พร้อมให้เหตุผลประกอบ

   ....

   ....

   ....

   ....

   ....

2. ถ้าต้องดูแลผู้ป่วยที่เป็นเบาหวานซึ่งต้องลดปริมาณน้ำตาลในเลือด จะแนะนำให้รับประทานถั่วชนิดใด และเป็นถั่วที่งอกหรือไม่งอก เพราะเหตุใด

....

....

....

จากตัวอย่างกิจกรรมสะเต็มศึกษาดังกล่าวมานี้ จะเห็นถึงความเชื่อมโยงกับการนำไปใช้ในชีวิตประจำวัน **นักเรียนคิดว่ายังมีสถานการณ์ใดที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันที่นักเรียนสามารถออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษาได้อีกบ้าง** นักเรียนจะได้ทำกิจกรรมต่อไปนี้

กิจกรรม 1.10 กิจกรรมสะเต็มศึกษา

จุดประสงค์

1. เลือกหัวข้อในการทำกิจกรรมสะเต็มศึกษาที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันได้
2. ออกแบบกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และดำเนินการศึกษาตามที่ออกแบบได้ถูกต้อง
3. นำเสนอผลการศึกษาและเผยแพร่ให้นักเรียนกลุ่มอื่น ๆ ภายในโรงเรียนในรูปแบบต่าง ๆ

วัสดุและอุปกรณ์

1. ให้นักเรียนเลือกหัวข้อ หรือปัญหาในการทำกิจกรรมสะเต็มศึกษา 1 หัวข้อ จากสภาพปัญหาหรือสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวัน
2. ออกแบบวิธีการทำกิจกรรมสะเต็มศึกษา โดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม และเขียนเค้าโครงของกิจกรรม ส่งครูที่ปรึกษา เพื่อขอคำแนะนำ
3. ดำเนินการศึกษาตามขั้นตอนที่วางแผนไว้ รวบรวมข้อมูลให้ครบถ้วนและเขียนรายงานการศึกษา
4. จัดทำโปสเตอร์แสดงผลงานการทำกิจกรรมสะเต็มศึกษาของนักเรียนและนำเสนอหน้าชั้นเรียน

? นักเรียนคิดว่ากิจกรรมสะเต็มศึกษาที่นักเรียนและเพื่อนกลุ่มอื่น ๆ ออกแบบนั้นสามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้หรือไม่ อย่างไร

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

1. สิ่งมีชีวิตมีลักษณะเฉพาะที่สำคัญ ได้แก่ มีกระบวนการเมแทบอลิซึม มีกระบวนการสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต มีกระบวนการตอบสนองต่อสิ่งเร้า มีกระบวนการควบคุมสมดุลของร่างกาย และมีการจัดระบบภายในร่างกาย

2. กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมในร่างกายสิ่งมีชีวิต ได้แก่ การได้รับสารอาหาร กระบวนการเปลี่ยนสารอาหารเพื่อให้ได้พลังงาน และการกำจัดของเสียออกจากร่างกาย

3. สิ่งมีชีวิตมีการตอบสนองต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อหาอาหาร หลบหลีกภัยจากศัตรู และมีการปรับตัวเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อม

4. สิ่งมีชีวิตต้องมีการควบคุมสมดุลหรือการรักษาดุลยภาพของร่างกายเพื่อให้ระบบต่าง ๆ ทำงานได้เป็นปกติ

5. ชีววิทยาเป็นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับสิ่งมีชีวิต ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เป็นความรู้และส่วนที่เป็นกระบวนการค้นหาความรู้

6. ชีวจริยธรรมเกี่ยวข้องกับคุณค่าของชีวิตหรือการมีชีวิต เป็นส่วนประกอบหนึ่งของจริยธรรมที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาทางด้านชีววิทยา

7. วิธีการทางวิทยาศาสตร์ ประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญได้แก่ การสังเกต การตั้งสมมติฐาน การตรวจสอบสมมติฐาน การรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล และการสรุปผล

8. การสังเกตเป็นทักษะที่สำคัญที่ทำให้ค้นพบปัญหาและการแก้ปัญหา การสังเกตจะใช้ประสาทสัมผัส เช่น การมองเห็น การได้ยิน การดมกลิ่น หรือการสัมผัส

9. การตั้งสมมติฐานมักใช้คำว่า **ถ้า**......**ดังนั้น**........ อาจตั้งสมมติฐานได้มากกว่าหนึ่งสมมติฐาน และสมมติฐานที่ดี จะช่วยแนะแนวทางการตรวจสอบสมมติฐานได้

10. การตรวจสอบสมมติฐานส่วนใหญ่มักใช้การทดลอง เพราะสามารถควบคุมตัวแปรได้ จึงทำให้ได้ข้อสรุปที่เชื่อถือได้

11. สมมติฐานที่ผ่านการทดสอบหลายครั้งแล้วสามารถนำไปตั้งเป็นทฤษฎี (theory) หรือถ้าความรู้ที่ได้รับเป็นความจริงก็จะถูกนำไปตั้งเป็นกฎ (law)

12. สะเต็มศึกษาคือ แนวทางการจัดการเรียนรู้ที่บูรณาการความรู้ด้านวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และคณิตศาสตร์ ไปใช้ในการเชื่อมโยงและแก้ปัญหาในชีวิตจริงและการประกอบอาชีพในอนาคต รวมทั้งพัฒนากระบวนการหรือผลผลิตใหม่ควบคู่ไปกับการพัฒนาทักษะแห่งศตวรรษที่ 21

13. กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมมีขั้นตอนที่สำคัญ 6 ขั้นตอนได้แก่ ระบุปัญหา รวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา ออกแบบวิธีการทำกิจกรรมแก้ปัญหา วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการทำกิจกรรมแก้ปัญหาหรือชิ้นงานและนำเสนอวิธีการทำกิจกรรมแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1

1. จงนำตัวอักษรหน้าลักษณะสำคัญของสิ่งมีชีวิตเติมลงในช่องว่างหน้าข้อความให้มีความสัมพันธ์กัน (ตอบได้มากกว่า 1 คำตอบ)
   ก. มีกระบวนการเมแทบอลิซึม
   ข. มีการสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต
   ค. มีการตอบสนองต่อสิ่งเร้า
   ง. มีการควบคุมสมดุลของร่างกาย
   จ. มีการจัดระบบภายในสิ่งมีชีวิต

   ....1) การสีปีกของจิ้งหรีดเพศผู้
   ....2) ลูกอ๊อดของกบมีลักษณะที่แตกต่างไปจาก พ่อ แม่
   ....3) ตับอ่อนเป็นอวัยวะที่ทำงานเกี่ยวข้องกับระบบย่อยอาหาร และระบบต่อมไร้ท่อ
   ....4) แมวเลียอุ้งเท้าในช่วงของวันที่มีอากาศร้อน
   ....5) ต้นข่ามีต้นอ่อนงอกออกมาเจริญอยู่ด้านข้าง
   ....6) การยกเท้าหนีทันทีเมื่อเหยียบของมีคม
   ....7) ไซเล็มและโฟลเอ็มเป็นเนื้อเยื่อที่ทำหน้าที่ลำเลียงสารในพืชดอก
   ....8) เสือวิ่งไล่ม้าลายในทุ่งหญ้า
   ....9) การหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้ออย่างรวดเร็วทำให้เกิดอาการสั่น เมื่ออยู่ในที่มีอากาศหนาวเย็น
   ....10) ตัวอ่อนของแมลงปอกินลูกอ๊อด ลูกปลา ส่วนแมลงปอตัวเต็มวัยกินแมลงเป็นอาหาร
   ....11) แมวมีชีวิตอยู่ได้นานประมาณ 25 ปี
   ....12) นักวิ่งมาราธอนควรดื่มเครื่องดื่มเกลือแร่เพื่อชดเชยน้ำและแร่ธาตุที่สูญเสียไป

2. ในการศึกษาหยดน้ำจากบ่อแห่งหนึ่งด้วยกล้องจุลทรรศน์พบก้อนวัตถุทรงกลมรีหลายขนาด มีเยื่อบาง ปกคลุม เมื่อหยดน้ำเกลือ และกรดแอซีติกลงข้างหยดน้ำ พบว่าวัตถุเคลื่อนหนีน้ำเกลือแต่เคลื่อนเข้าหากรดแอซีติก ข้อใดเป็นหลักฐานว่าวัตถุนั้นเป็นสิ่งมีชีวิต
   ก. การสืบพันธุ์ และการเจริญเติบโต
   ข. การเปลี่ยนแปลงทางเคมีในร่างกาย
   ค. การตอบสนองต่อสิ่งเร้ามีชีวิต
   ง. การควบคุมสมดุลของสารในร่างกาย

3. นักเรียนคนหนึ่งมีความคิดว่าการฉายรังสีทำให้ต้นส้มมีผลขนาดใหญ่ จึงแบ่งต้นส้มออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ต้น กลุ่มที่ 1 ฉายรังสี กลุ่มที่ 2 ไม่ฉายรังสี แล้วนำต้นส้มไปปลูกในสภาพแวดล้อมที่ เหมือนกัน เมื่อออกผลก็นำผลส้มมาวัดขนาด และบันทึกผล จากการทดลองของนักเรียน ข้อใดเป็นตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุม ตามลำดับ
   ก. ขนาดของผลส้ม การฉายรังสี ต้นส้มที่ได้รับรังสี
   ข. ขนาดของผลส้ม การฉายรังสี ต้นส้มที่ไม่ได้รับรังสี
   ค. การฉายรังสี ขนาดของผลส้ม ต้นส้มที่ได้รับรังสี
   ง. การฉายรังสี ขนาดของผลส้ม ต้นส้มที่ไม่ได้รับรังสี

4. จากข้อมูลข้อที่ 3. ข้อใดทำให้ผลการทดลองน่าเชื่อถือน้อยลง
   ก. ควบคุมให้มีการถ่ายเรณูภายในต้นเดียวกัน
   ข. เพิ่มจำนวนต้นส้มเป็นกลุ่มละ 20 ต้น
   ค. ให้ต้นส้มกลุ่มที่ 1 และ 2 มีสายพันธุ์ต่างกัน
   ง. เก็บผลการทดลองไว้โดยไม่เผยแพร่สู่สาธารณชน

5. การกระทำในข้อใดที่ขัดต่อหลักชีวจริยธรรม
   ก. การตัดต่อยีนเพื่อสร้างพืชดัดแปรพันธุกรรม
   ข. การใช้สารสังเคราะห์ที่มีสมบัติเหมือนฮอร์โมนพืช เพื่อพัฒนารังไข่เป็นผลโดยไม่มีการปฏิสนธิ
   ค. การใช้ฟอร์มาลีนยืดอายุของพืชผัก
   ง. การนำเทคโนโลยีทาง DNA มาใช้ในการวินิจฉัยโรค

6. จงใส่เครื่องหมาย √ หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมาย × หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำ หรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออก หรือเติมคำหรือข้อความ ที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

........1) ในการศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์เพื่อแก้ข้อสงสัยว่าคนที่บริโภคอาหารทะเลจะมีโอกาสเป็นโรคคอพอกน้อยกว่าคนที่ไม่บริโภคอาหารทะเล ควรเริ่มต้นจากการเก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูล

........2) ข้อมูลที่ได้จากการสังเกต และสืบค้นข้อมูลมีความสำคัญต่อการตั้งสมมติฐาน

........3) การตรวจสอบความถูกต้องของทฤษฎีเป็นขั้นตอนหนึ่งของวิธีการทางวิทยาศาสตร์

........4) สรีรวิทยา (physiology) เป็นสาขาของชีววิทยาที่ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของร่างกาย

........5) นักเรียนตั้งสมมติฐานว่า ถ้าพืช A เป็นพืชดินเค็ม ดังนั้นพืช A สามารถเจริญเติบโตได้ดีในบริเวณป่าชายเลนซึ่งดินมีเกลือโซเดียมคลอไรด์มาก ตัวแปรต้น คือ การเจริญเติบโตของพืช A และตัวแปรตาม คือ ปริมาณเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่พืชได้รับ

........6) การทดลองเลี้ยงปลานิลสายพันธุ์เดียวกันมีอายุ น้ำหนัก และจำนวนเท่ากัน 2 กลุ่ม โดยเลี้ยงในบ่อที่มีสภาพเหมือนกัน ให้อาหารสูตรเดียวกัน แต่วิธีให้อาหารต่างกัน ดังนี้

กลุ่มที่ 1 ให้อาหารวันละ 1 ครั้ง

กลุ่มที่ 2 ให้อาหารวันละ 3 ครั้ง แต่ละครั้งมีปริมาณอาหารเป็น ⅓ เท่าที่กลุ่ม ที่ 1 ได้รับ

สุ่มชั่งน้ำหนักปลานิลครั้งละ 10 ตัว ทุกสัปดาห์ จำนวน 5 สัปดาห์ ตัวแปรต้นของการทดลอง คือ จำนวนครั้งในการให้อาหารต่อวัน

........7) การเกี่ยวพันของมือเกาะของตำลึงจัดเป็นการตอบสนองต่อสิ่งเร้าของพืช

........8) การออกแบบวิธีการตรวจสอบสมมติฐาน เป็นขั้นตอนที่สำคัญของกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม

7. ให้นักเรียนศึกษาข้อมูลต่อไปนี้แล้วตอบคำถามข้อ 7.1-7.3
ไส้เดือนดินได้ชื่อว่าเป็นเครื่องจักรชีวภาพย่อยสลายขยะ สามารถย่อยสลายขยะอินทรีย์ได้อย่างรวดเร็ว ชอนไชลงใต้ดินได้ลึกมาก ซึ่งเป็นการไถพรวนทางธรรมชาติที่เครื่องจักรกลทางการเกษตรไม่สามารถทำได้ ทำให้โครงสร้างของดินดีขึ้น ดินร่วนซุย มีการระบายน้ำและอากาศลงสู่ดินได้ดี นอกจากนี้ไส้เดือนดินยังใช้เป็นอาหารล่อเหยื่อตกปลา และผลิตภัณฑ์จากไส้เดือนดินสามารถนำมาทำเป็นปุ๋ยน้ำหมักฉีดผัก ผลไม้ ทั้งนี้ไส้เดือนดินมีราคาจำหน่ายกิโลกรัมละ 300 บาทขึ้นไปตามชนิดของสายพันธุ์
   7.1 นักเรียนคนหนึ่งต้องการเพาะเลี้ยงไส้เดือนดินเพื่อประโยชน์ทางการค้า นักเรียนคนนี้จะต้องออกแบบวิธีการเลี้ยงไส้เดือนดินอย่างไร จึงจะได้ไส้เดือนดินจำนวนมาก
   7.2 จากข้อมูลดังกล่าวนี้เพียงพอต่อการออกแบบการทดลองเพื่อขยายพันธุ์ไส้เดือนดินหรือไม่ ถ้าไม่เพียงพอ นักเรียนคิดว่ายังขาดข้อมูลด้านใดบ้างที่ใช้ประกอบการออกแบบการทดลอง
   7.3 มีตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมใดบ้างที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

8. ถึงแม้ว่าในปัจจุบันมีทางเลือกอื่น ๆ ในการเรียนการสอนและการวิจัยเกี่ยวกับสัตว์ที่ไม่จำเป็นต้องใช้สัตว์ทดลองแล้ว เพราะเหตุใดจึงพบว่ายังคงมีการทดลองลักษณะดังกล่าวในสัตว์อยู่อีก

9. ให้นักเรียนยกตัวอย่างการเรียนการสอน และการวิจัยเกี่ยวกับสัตว์ที่ไม่จำเป็นต้องใช้สัตว์ทดลอง

10. ให้นักเรียนศึกษาสถานการณ์ที่กำหนดให้ดังต่อไปนี้ แล้วตอบคำถามข้อ 10.1-10.2
ยุวเกษตรกรคนหนึ่งมีพื้นที่ว่างเปล่าใกล้บ้านประมาณ 600 ตารางเมตร และต้องการหารายได้ จากการปลูกผักโดยเลือกปลูกมะเขือเทศเชอรี ซึ่งเป็นพืชอายุสั้นเก็บผลผลิตได้เร็ว เป็นที่นิยมบริโภคของคนรุ่นใหม่ เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงการใช้สารฆ่าแมลง เขาจึงปลูกพืชในโรงเรือนหรือที่เรียกว่าปลูกผักกางมุ้ง แต่มีข้อเสียคือไม่มีแมลงมาช่วยผสมเกสรเพื่อให้มะเขือเทศเชอรีติดลูก
   10.1 จากข้อมูลดังกล่าวนี้ ให้นักเรียนระบุว่าปัญหาคืออะไร
   10.2 นักเรียนจะใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมอย่างไร ในการแก้ปัญหาการปลูกมะเขือเทศเชอรีในโรงเรือนดังกล่าวนี้

บทที่ 2 | เคมีที่เป็นพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต

goo.gl/5c1jLE



มนุษย์นำพืชมาเป็นอาหารและใช้ประโยชน์ในหลากหลายด้าน หนึ่งในนั้นคือการทำถ่าน ซึ่งเป็นการนำพืชมาผ่านกระบวนการให้ความร้อน ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจนทำให้น้ำและสารประกอบบางชนิดที่อยู่ในพืชเกิดการระเหยและสลายตัว จนเหลือเฉพาะธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลักและพืชเปลี่ยนเป็นสีดำ ถ่านสีดำที่ได้ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนเป็นหลัก **พืชที่เจริญเติบโตจนเป็นต้นไม้ใหญ่ได้รับคาร์บอนเหล่านี้มาได้อย่างไร และนอกจากธาตุคาร์บอนแล้ว ยังมีธาตุอื่น ๆ อะไรอีกบ้างที่เป็นองค์ประกอบในพืชและสิ่งมีชีวิตอื่น**

คำถามสำคัญ

1. **สารที่เป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตมีโครงสร้างและหน้าที่อย่างไร**
2. **ปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์เกิดขึ้นและถูกควบคุมได้อย่างไร**

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. สืบค้นข้อมูล อธิบายเกี่ยวกับอะตอม ธาตุ และสารประกอบ
2. ยกตัวอย่างและบอกความสำคัญของธาตุชนิดต่าง ๆ ต่อสิ่งมีชีวิต
3. สืบค้นข้อมูล อธิบายโครงสร้างและสมบัติของน้ำ และบอกความสำคัญของน้ำที่มีต่อสิ่งมีชีวิต
4. สืบค้นข้อมูล อธิบายโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรต ระบุกลุ่มของคาร์โบไฮเดรต รวมทั้งความสำคัญของคาร์โบไฮเดรตที่มีต่อสิ่งมีชีวิต
5. สืบค้นข้อมูล อธิบายโครงสร้างของโปรตีน และความสำคัญของโปรตีนที่มีต่อสิ่งมีชีวิต
6. สืบค้นข้อมูล อธิบายโครงสร้างของลิพิด และระบุกลุ่มของลิพิดตามโครงสร้างและความสำคัญของลิพิดที่มีต่อสิ่งมีชีวิต
7. อธิบายโครงสร้างของกรดนิวคลีอิก และระบุชนิดของกรดนิวคลีอิกและความสำคัญของกรดนิวคลีอิกที่มีต่อสิ่งมีชีวิต
8. อธิบาย และเปรียบเทียบปฏิกิริยาดูดพลังงานและปฏิกิริยาคายพลังงานที่เกิดขึ้นในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต
9. อธิบายความสำคัญของการเกิดปฏิกิริยาควบคู่กันระหว่างปฏิกิริยาดูดพลังงานและปฏิกิริยาคายพลังงานในสิ่งมีชีวิต
10. อธิบายกลไกการทำงานของเอนไซม์ในการเร่งปฏิกิริยาเคมีในสิ่งมีชีวิต และการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์
11. ระบุปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ และอธิบายผลของปัจจัยนั้น ๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์
12. อธิบายความหมายและประเภทของเมแทบอลิซึม

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (√) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

1. ตัวเลขแสดงจำนวนโปรตอนในอะตอม เรียกว่า เลขมวล ส่วนผลรวมของจำนวนโปรตอนกับนิวตรอนเรียกว่า เลขอะตอม

2. อิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานชั้นนอกสุดที่เคลื่อนที่รอบนิวเคลียส เรียกว่า เวเลนซ์อิเล็กตรอน

3. โปรตอนและนิวตรอนมีประจุไฟฟ้าบวก ส่วนอิเล็กตรอนมีประจุไฟฟ้าลบ

4. พันธะเคมีที่มีการให้และรับอิเล็กตรอนระหว่างอะตอมหรือไอออนยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างประจุไฟฟ้าที่ต่างกัน การยึดเหนี่ยวนี้เป็นพันธะโคเวเลนต์

5. ธาตุแต่ละชนิดมีสมบัติเฉพาะตัวและมีสมบัติทางกายภาพบางประการเหมือนกันและบางประการต่างกัน ซึ่งสามารถนำมาจัดกลุ่มธาตุเป็นโลหะ อโลหะ และกึ่งโลหะ

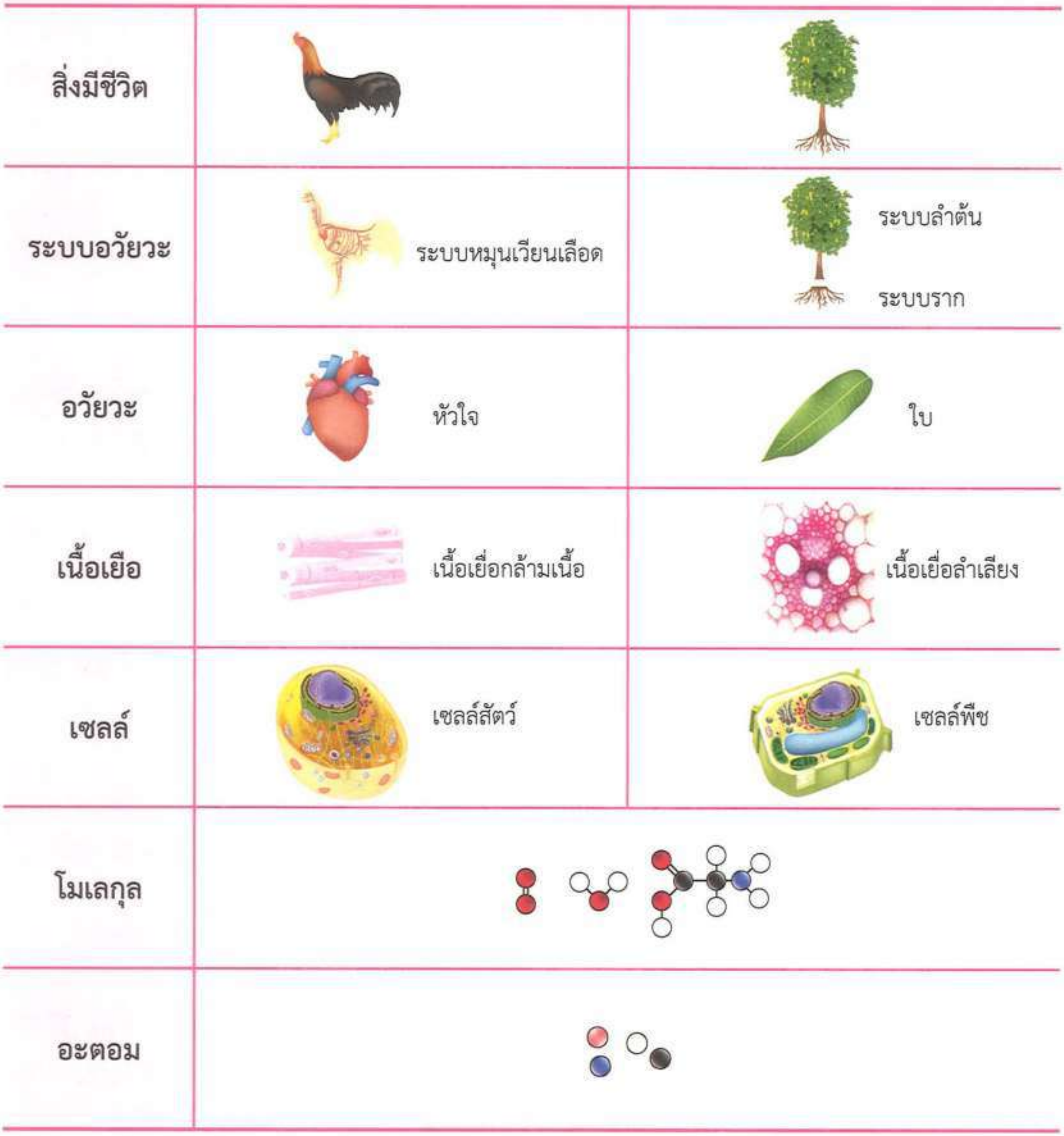
6. ปฏิกิริยาเคมีเป็นกระบวนการที่ทำให้สารเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีแล้วมีสารใหม่เกิดขึ้น

7. การเกิดปฏิกิริยาเคมีอาจสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงของสีหรือกลิ่นที่ต่างไปจากสารเดิม การมีฟองแก๊ส หรือตะกอนเกิดขึ้น หรือมีการเพิ่มหรือลดของอุณหภูมิ

8. การหลอมเหลวของน้ำแข็งหรือการระเหยกลายเป็นไอน้ำจัดเป็นปฏิกิริยาเคมี

9. เมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมี อะตอมของสารตั้งต้นจะมีการจัดเรียงตัวใหม่ได้เป็นสารผลิตภัณฑ์ โดยอะตอมแต่ละชนิดก่อนและหลังเกิดปฏิกิริยาเคมีมีจำนวนเท่ากัน แต่มวลรวมของสารตั้งต้นอาจจะไม่เท่ากับมวลรวมของสารผลิตภัณฑ์ก็ได้

สิ่งต่าง ๆ รอบตัวล้วนประกอบด้วย**อะตอม** (atom) ของ**ธาตุ** (element) ต่าง ๆ อะตอมยึดเหนี่ยวกันด้วย**พันธะเคมี** (chemical bond) เกิดเป็นโมเลกุล เซลล์ซึ่งเป็นหน่วยพื้นฐานที่เล็กที่สุดของสิ่งมีชีวิตเกิดจากโมเลกุลชนิดต่าง ๆ จำนวนมากมารวมตัวกัน สิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ เช่น พืช สัตว์ มีเซลล์จำนวนมากรวมเป็นเนื้อเยื่อซึ่งมีหน้าที่จำเพาะ เนื้อเยื่อหลายชนิดทำงานร่วมกันเป็นอวัยวะและระบบอวัยวะที่ประกอบเป็นสิ่งมีชีวิต ดังรูป 2.1



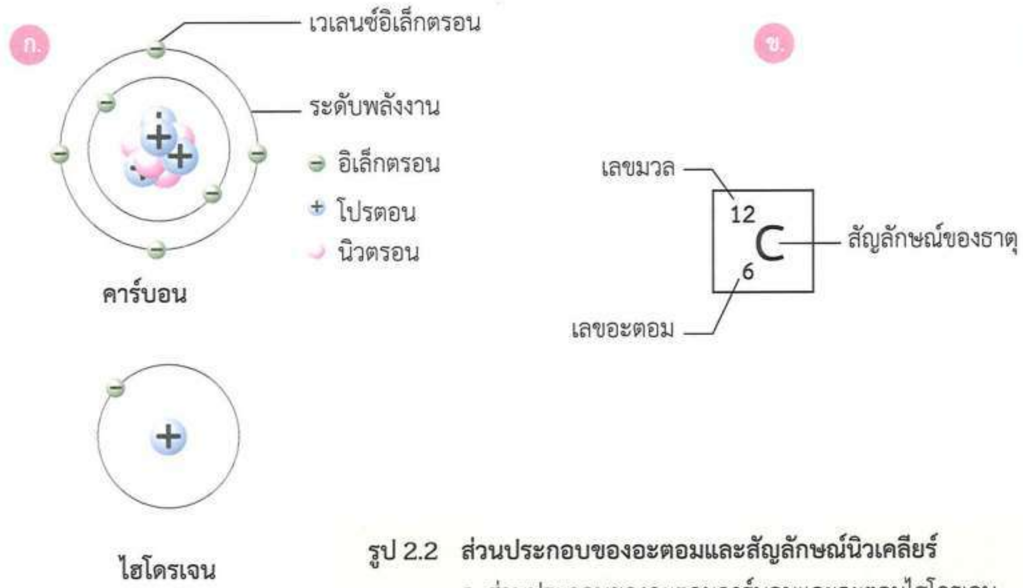
รูป 2.1 โครงสร้างระดับต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต

2.1 อะตอม ธาตุ และสารประกอบ

2.1.1 อะตอม

อะตอม ประกอบด้วยโปรตอน (proton) นิวตรอน (neutron) อยู่ในนิวเคลียส และอิเล็กตรอน (electron) ซึ่งเคลื่อนที่รอบนิวเคลียส ตัวเลขแสดงจำนวนโปรตอนในอะตอม เรียกว่า **เลขอะตอม** (atomic number) ผลรวมของจำนวนโปรตอนกับนิวตรอนเรียกว่า **เลขมวล** (mass number) โดยโปรตอนมีประจุไฟฟ้าบวก ส่วนอิเล็กตรอนมีประจุไฟฟ้าลบ ขณะที่นิวตรอนไม่มีประจุ อะตอมที่มีจำนวนอิเล็กตรอนเท่ากับจำนวนโปรตอนจะเป็นกลางทางไฟฟ้า

โปรตอนและนิวตรอนจัดเรียงตัวอยู่บริเวณกึ่งกลางของอะตอมเป็น นิวเคลียส ส่วนอิเล็กตรอนเคลื่อนที่รอบนิวเคลียสในระดับพลังงานต่าง ๆ อิเล็กตรอนที่อยู่ในระดับพลังงานนอกสุดเรียกว่า **เวเลนซ์อิเล็กตรอน** (valence electron) ดังรูป 2.2



รูป 2.2 ส่วนประกอบของอะตอมและสัญลักษณ์นิวเคลียร์
ก. ส่วนประกอบของอะตอมคาร์บอนและอะตอมไฮโดรเจน
ข. สัญลักษณ์นิวเคลียร์

? จากรูป 2.2 ก. ให้ระบุจำนวนเวเลนซ์อิเล็กตรอนของอะตอมคาร์บอนและอะตอมไฮโดรเจน

? จากรูป 2.2 ข. อะตอมคาร์บอนมีจำนวนโปรตอนและนิวตรอนอย่างละเท่าไร

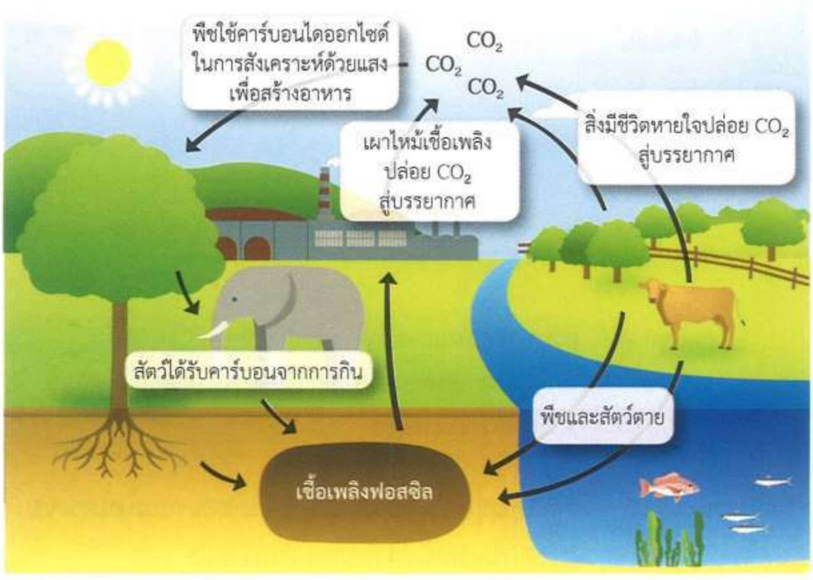
เชื่อมโยงกับเคมี

สัญลักษณ์นิวเคลียร์ (nuclear symbol) เป็นสัญลักษณ์ของธาตุที่เขียนแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับเลขอะตอมและเลขมวล โดยเขียนเลขอะตอมไว้มุมล่างซ้ายและเลขมวลไว้มุมบนซ้ายของสัญลักษณ์ธาตุ

2.1.2 ธาตุและสารประกอบ

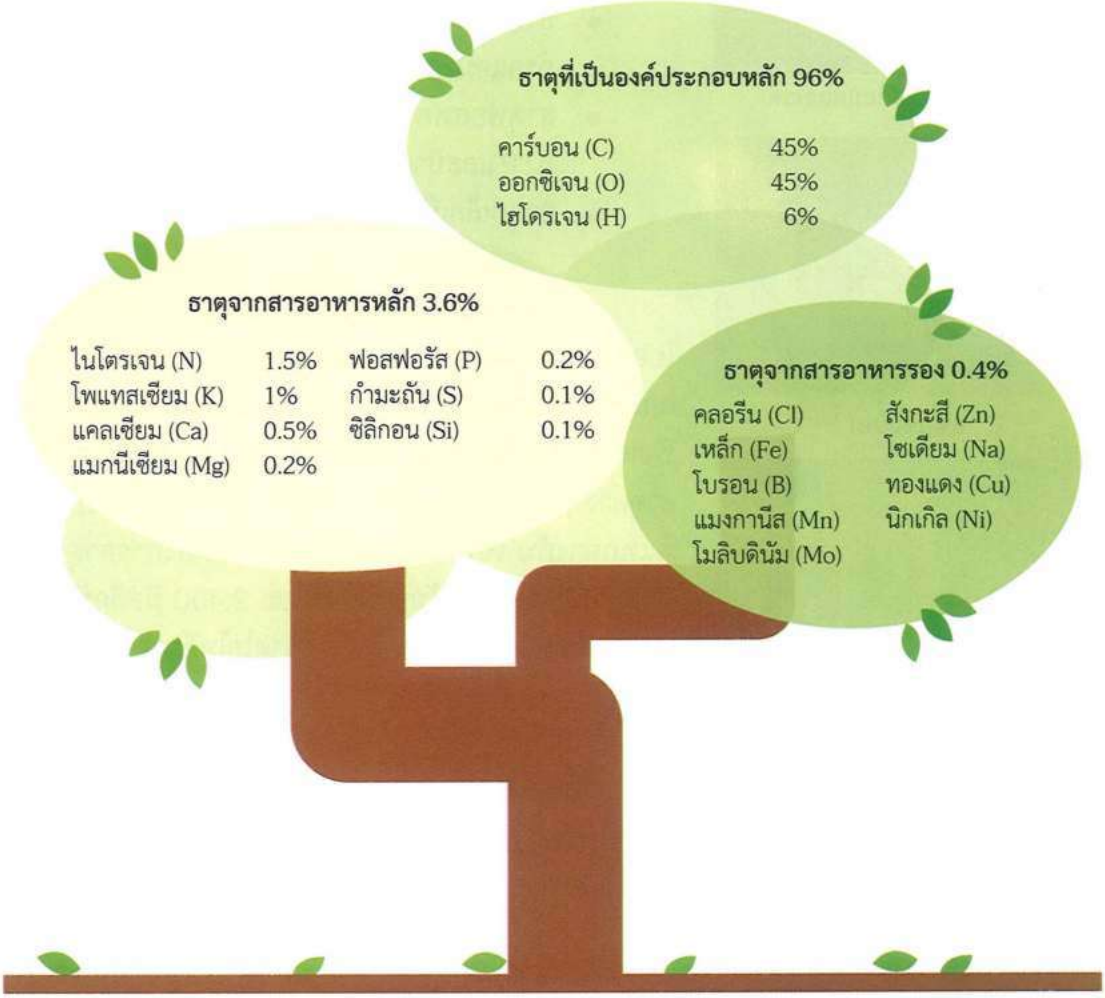
จากการนำพืชมาเผาจนได้ถ่านสีดำมีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักแล้ว พืชยังประกอบด้วยธาตุหลักอีก 2 ชนิด คือ ออกซิเจน และไฮโดรเจน ซึ่งธาตุหลักทั้ง 3 ชนิดได้มาจากน้ำและแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ พืชได้รับคาร์บอนจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในบรรยากาศผ่านการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อสร้างอาหาร โดยพืชเปลี่ยนคาร์บอนจากแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่ในรูปของน้ำตาลซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่พืชสามารถนำไปสลายเพื่อให้ได้พลังงานหรือเป็นสารตั้งต้นในการสร้างสารอินทรีย์อื่น ๆ ขณะที่สัตว์ได้รับคาร์บอนในรูปของสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ จากการกิน

เมื่อสิ่งมีชีวิตหายใจ คาร์บอนจะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศในรูปแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และเมื่อพืชและสัตว์ตายพวกแบคทีเรียและฟังไจก็จะย่อยสลายซากพืชและซากสัตว์ ส่วนคาร์บอนที่สะสมเป็นเวลานานอาจเกิดเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิล ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมันดิบ และแก๊สธรรมชาติ ซึ่งเมื่อเกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลก็จะได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ปล่อยสู่บรรยากาศ ดังรูป 2.3



รูป 2.3 การหมุนเวียนของคาร์บอน

นอกจากนี้พืชยังประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ อีกหลายชนิด ซึ่งธาตุเหล่านี้เป็นองค์ประกอบในสารอาหารของพืช ดังรูป 2.4



รูป 2.4 ชนิดและปริมาณของธาตุที่พบในพืชทั่วไป

ที่มา : Taiz Lincoln and et al. 2015. Plant physiology and development. 6th.



สารประกอบโซเดียมคลอไรด์



ธาตุโซเดียม



แก๊สคลอรีน

รูป 2.5 ลักษณะของสารประกอบโซเดียมคลอไรด์ และธาตุที่เป็นองค์ประกอบ

สิ่งมีชีวิตอื่น ๆ มีธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลักเช่นเดียวกับพืช ส่วนธาตุอื่น ๆ มีปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของสิ่งมีชีวิต ตามโครงสร้างเพื่อการดำรงชีวิต ธาตุเหล่านี้มีบทบาทสำคัญ เช่น

- ธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของคลอโรฟิลล์ กรดแอมิโน และกรดนิวคลิอิก
- ธาตุฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของฟอสโฟลิพิด ATP และนิวคลีโอไทด์
- ธาตุเหล็กเป็นองค์ประกอบของฮีโมโกลบิน

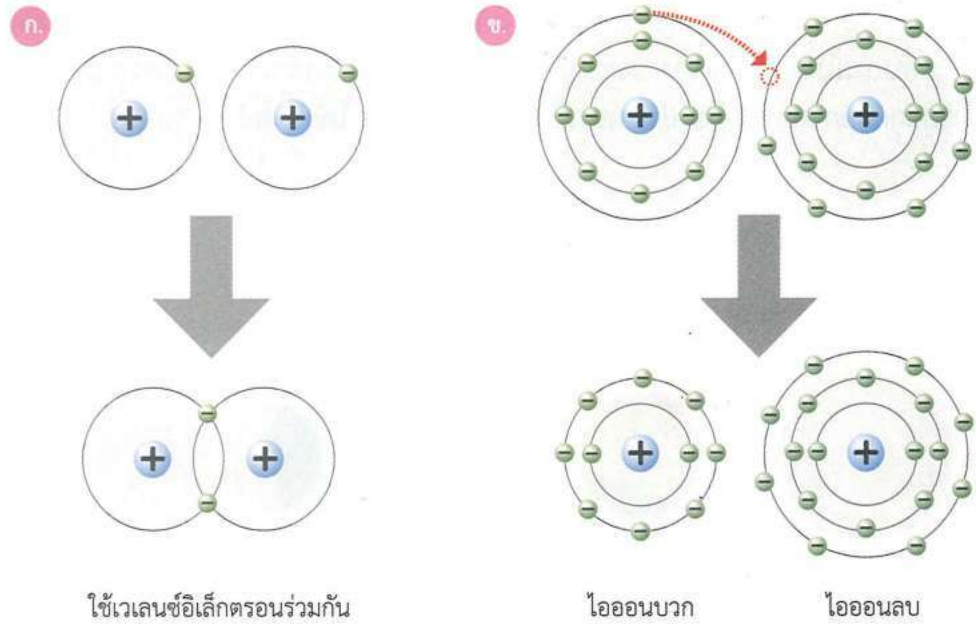
ธาตุเหล่านี้ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไอออน เช่น โซเดียมไอออน (Na^+) โพแทสเซียมไอออน (K^+) แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) และไนเทรตไอออน (NO_3^-) ไอออนเหล่านี้ละลายอยู่ในน้ำซึ่งพืชสามารถดูดซึมเข้าสู่รากได้ สำหรับมนุษย์และสัตว์จะได้รับธาตุต่าง ๆ เข้าสู่ร่างกายจากการบริโภคโดยต้องการในปริมาณที่แตกต่างกัน เช่น ในแต่ละวันร่างกายต้องการธาตุเหล็กประมาณ 15 มิลลิกรัม ธาตุโซเดียม 2,400 มิลลิกรัม ธาตุโพแทสเซียม 3,500 มิลลิกรัม และธาตุไอโอดีนประมาณ 0.15 มิลลิกรัม

ถึงแม้สิ่งมีชีวิตต้องการธาตุบางชนิดในปริมาณเล็กน้อย แต่ถ้าได้รับปริมาณไม่เพียงพอหรือเมื่อมีการสูญเสียไปอาจทำให้การทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ผิดปกติได้

นอกจากสารจะอยู่ในรูปของธาตุต่าง ๆ แล้ว ยังพบในรูปสารประกอบด้วย ซึ่งสารประกอบจะประกอบด้วยอะตอมมากกว่า 1 ชนิด เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เกิดจากโซเดียม (Na) ซึ่งเป็นธาตุที่มีลักษณะเป็นโลหะสีเทา จุดหลอมเหลวต่ำ ไวต่อปฏิกิริยา และคลอรีน (Cl) ซึ่งเป็นธาตุที่มีลักษณะเป็นแก๊สสีเขียวเหลืองและเป็นพิษ แต่โซเดียมคลอไรด์มีลักษณะเป็นของแข็ง ไม่เป็นพิษ ไม่มีสี และมีจุดหลอมเหลวสูง ดังรูป 2.5

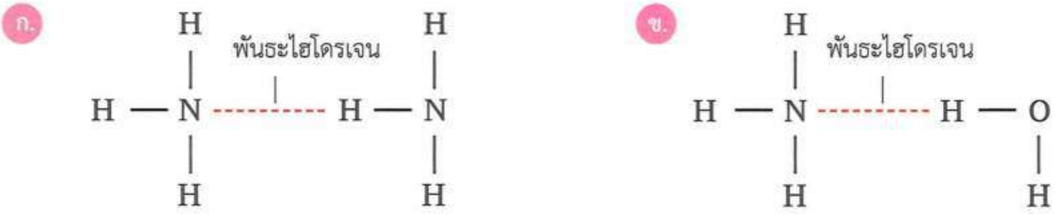
พันธะเคมี

สารที่พบในสิ่งมีชีวิตมีหลายประเภท ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของอะตอมหรือไอออนด้วยแรงยึดเหนี่ยวที่เรียกว่า **พันธะเคมี** (chemical bond) ซึ่งพันธะเคมีเกี่ยวข้องกับเวเลนซ์อิเล็กตรอนของคู่อะตอมที่ร่วมสร้างพันธะกัน การยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมธาตุ 2 อะตอม โดยการใช้เวเลนซ์อิเล็กตรอนร่วมกันเกิดเป็นพันธะโคเวเลนต์ ส่วนการให้และรับเวเลนซ์อิเล็กตรอนระหว่างอะตอมเป็นการยึดเหนี่ยวระหว่างประจุไฟฟ้าของไอออนบวกและไอออนลบเกิดเป็นพันธะไอออนิก ดังรูป 2.6



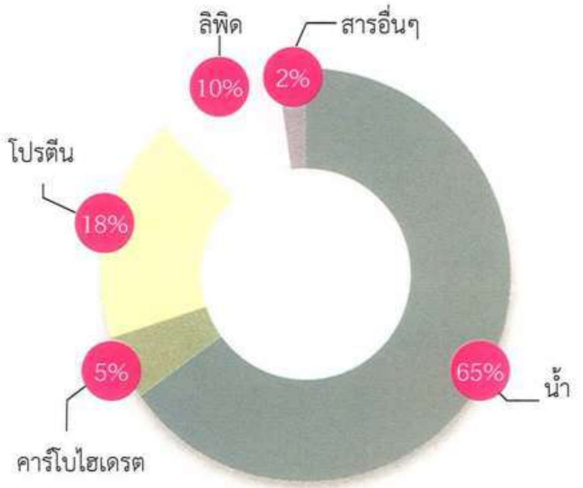
รูป 2.6 **พันธะเคมี**
ก. พันธะโคเวเลนต์ ข. พันธะไอออนิก

นอกจากนี้โมเลกุลยังเกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลได้โดยอาจเกิดจากโมเลกุลชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน เช่น **พันธะไฮโดรเจน** (hydrogen bond) ดังรูป 2.7



รูป 2.7 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล
ก. พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแอมโมเนีย
ข. พันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของแอมโมเนียกับน้ำ

จากการยึดเหนี่ยวกันของอะตอมและโมเลกุลต่าง ๆ ทำให้เกิดสารหลายประเภทซึ่งเป็นองค์ประกอบภายในสิ่งมีชีวิต ร่างกายของมนุษย์ประกอบด้วยสารต่าง ๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ลิพิด กรดนิวคลิอิก และน้ำ ซึ่งมีปริมาณเฉลี่ยแสดงเป็นร้อยละโดยน้ำหนักดังรูป 2.8



รูป 2.8 ปริมาณของสารต่าง ๆ ในร่างกายมนุษย์

สารเหล่านี้มีความสำคัญต่อร่างกายเนื่องจากเป็นส่วนประกอบของเซลล์และเนื้อเยื่อ รวมทั้งช่วยในการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ทำให้สิ่งมีชีวิตสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ **ในร่างกายของสิ่งมีชีวิตสารต่าง ๆ มีโครงสร้างเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร โครงสร้างของสารเหล่านี้มีผลต่อการทำงานของเซลล์หรือไม่ อย่างไร**

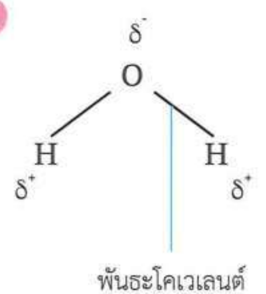
2.2 น้ำ

น้ำเป็นสารประกอบที่พบมากในสิ่งมีชีวิต ร่างกายมนุษย์มีน้ำประมาณ 65% หรือประมาณ 2 ใน 3 ของน้ำหนักตัว น้ำมีบทบาทสำคัญในการรักษาดุลยภาพของร่างกาย เช่น เป็นตัวกลางของการเกิดปฏิกิริยาเคมีของกระบวนการเมแทบอลิซึมในร่างกาย การลำเลียงสาร การย่อยอาหาร การหมุนเวียนเลือด การขับถ่ายของเสียออกจากร่างกาย การขับกากอาหารในลำไส้ใหญ่ รวมถึงการรักษาดุลยภาพของอุณหภูมิ และความเป็นกรด-เบสของเลือดและของเหลวต่าง ๆ ในร่างกาย **เมื่อร่างกายขาดน้ำที่เป็นองค์ประกอบสำคัญจะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตอย่างไร**

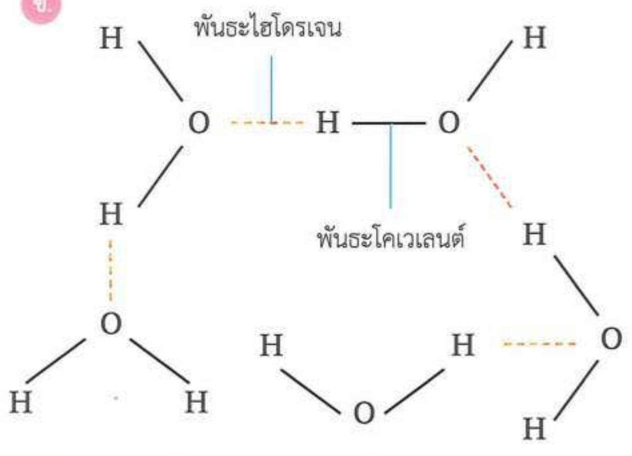
โครงสร้างโมเลกุลของน้ำ

น้ำประกอบด้วยอะตอมของไฮโดรเจนและออกซิเจน มีสูตรเคมีเป็น H_2O อะตอมของไฮโดรเจนและออกซิเจนยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ แต่อิเล็กตรอนคู่ร่วมพันธะอยู่บริเวณอะตอมของออกซิเจนมากกว่าอะตอมของไฮโดรเจน จึงทำให้โมเลกุลของน้ำเป็น**โมเลกุลมีขั้ว** (polar molecule) โมเลกุลของน้ำยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างอะตอมของไฮโดรเจนของน้ำโมเลกุลหนึ่งกับอะตอมของออกซิเจนของน้ำอีกโมเลกุลหนึ่ง ดังรูป 2.9 พันธะไฮโดรเจนเป็นพันธะที่มีแรงยึดเหนี่ยวน้อยกว่าพันธะโคเวเลนต์ และถูกสลายได้เมื่อน้ำไปรวมตัวกับสารอื่น ๆ

ก.



ข.



รูป 2.9 โครงสร้างและพันธะของน้ำ

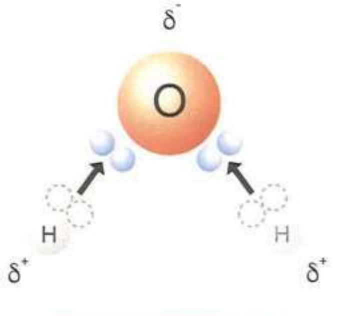
ก. โมเลกุลของน้ำ ส่วนที่แสดงสภาพขั้วเป็นลบใช้สัญลักษณ์ δ^- ส่วนที่แสดงสภาพขั้วเป็นบวกใช้สัญลักษณ์ δ^+

ข. พันธะไฮโดรเจนที่ยึดระหว่างโมเลกุลของน้ำ

เชื่อมโยงกับเคมี

น้ำเป็นสารมีขั้ว เนื่องจากอิเล็กตรอนในโมเลกุลมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน โดยบริเวณอะตอมออกซิเจนมีอิเล็กตรอนหนาแน่นมากกว่าจึงมีประจุไฟฟ้าค่อนข้างลบ ส่วนบริเวณอะตอมไฮโดรเจนมีอิเล็กตรอนหนาแน่นน้อยกว่าจึงมีประจุไฟฟ้าค่อนข้างบวก

โซเดียมไอออนและคลอไรด์ไอออนเป็นสารที่มีประจุ เนื่องจากมีจำนวนโปรตอน (ซึ่งมีประจุบวก) ไม่เท่ากับจำนวนอิเล็กตรอน (ซึ่งมีประจุลบ) ทำให้ประจุสุทธิไม่เป็น 0 การเขียนจะมีเครื่องหมายและเลขประจุแสดงไว้ (ถ้าเป็นประจุ 1+ หรือ 1- จะไม่ระบุเลขประจุ เช่น Na^+ Cl^-)



น้ำเป็นสารมีขั้ว

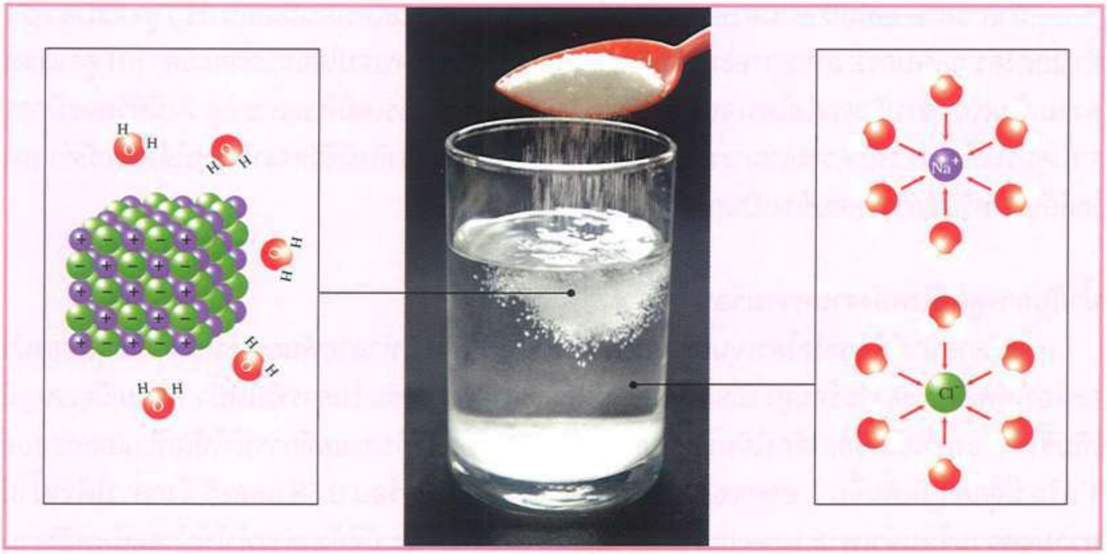


โซเดียมไอออนเป็นสารที่มีประจุบวก

คลอไรด์ไอออนเป็นสารที่มีประจุลบ

น้ำกับการเป็นตัวทำละลาย

สมบัติการมีขั้วและการเกิดพันธะไฮโดรเจนของน้ำกับโมเลกุลของสารต่าง ๆ ทำให้สารที่มีขั้วสามารถละลายน้ำได้ดี น้ำจึงเป็นตัวทำละลายที่ดี ทำให้มีประโยชน์ต่อการนำสารเข้าและออกจากเซลล์ การลำเลียงสารต่าง ๆ ไปยังเซลล์ของสิ่งมีชีวิต รวมถึงการกำจัดของเสีย สำหรับสารมีขั้วที่ละลายในน้ำได้และแตกตัวให้ไอออน เช่น โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมไอออน (Na^+) จะเกาะกับอะตอมของออกซิเจนซึ่งเป็นขั้วลบ ส่วนคลอไรด์ไอออน (Cl^-) จะเกาะกับอะตอมของไฮโดรเจนซึ่งเป็นขั้วบวก ดังรูป 2.10



รูป 2.10 การแตกตัวของโซเดียมคลอไรด์ในน้ำ

น้ำกับสารที่มีสมบัติไฮโดรฟิลิกและไฮโดรโฟบิก

สารมีขั้วที่ละลายน้ำได้ดีจัดเป็นสารที่มีสมบัติ**ไฮโดรฟิลิก** (hydrophilic) ซึ่งหมายถึงชอบน้ำ เช่น โซเดียมคลอไรด์ (เกลือแกง) ซูโครส (น้ำตาลทราย) ส่วนสารไม่มีขั้วส่วนใหญ่จะละลายน้ำได้น้อย จัดเป็นสารที่มีสมบัติ**ไฮโดรโฟบิก** (hydrophobic) ซึ่งหมายถึงไม่ชอบน้ำ เช่น น้ำมันพืช น้ำมันสัตว์ ขี้ผึ้ง ทั้งนี้เป็นเพราะสารที่มีสมบัติไฮโดรโฟบิกไม่สามารถแตกตัวให้ไอออนได้เหมือนโซเดียมคลอไรด์ หรือเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้วจึงไม่สามารถยึดเกาะกับโมเลกุลของน้ำได้

? สารในชีวิตประจำวันที่มีสมบัติไฮโดรฟิลิก และสารที่มีสมบัติไฮโดรโฟบิก มีอะไรบ้าง ยกตัวอย่างประกอบ

น้ำกับความเป็นกรด-เบส

ในภาวะปกติโมเลกุลของน้ำสามารถแตกตัวได้เล็กน้อยให้ไฮโดรเจนไอออน (H^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ซึ่งอยู่ในสมดุล ดังสมการ

$$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$

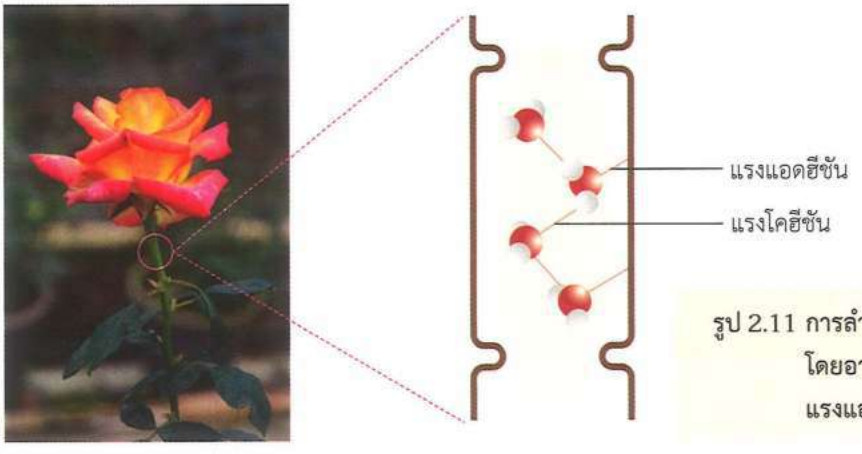
ถ้าสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออน (H^+) สูง จะมีค่า pH ต่ำ แสดงความเป็นกรด ส่วนสารละลายที่มีความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนต่ำจะมีค่า pH สูง แสดงความเป็นเบส ซึ่งปริมาณไฮโดรเจนไอออนขึ้นกับสมบัติของสารเคมีที่ละลายอยู่ สิ่งมีชีวิตจะมีการควบคุมระดับ pH ให้มีความเหมาะสม โดยปกติเซลล์ร่างกายของสิ่งมีชีวิตจะทำงานได้ดีเมื่อมีค่า pH ใกล้กับ 7 หรือมีภาวะค่อนข้างเป็นกลาง

น้ำกับการดูดซับพลังงานความร้อน

โมเลกุลน้ำมีพันธะไฮโดรเจนยึดเหนี่ยวระหว่างกัน ในการทำลายพันธะระหว่างโมเลกุลของน้ำจะต้องใช้พลังงานความร้อนสูง เมื่อเทียบกับตัวทำละลายอื่น ๆ เช่น ในการทำให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ต้องใช้พลังงานความร้อน 1 แคลอรี ในขณะที่การทำให้เอทิลแอลกอฮอล์ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ต้องใช้พลังงานความร้อน 0.58 แคลอรี จึงกล่าวได้ว่าน้ำมี**ความจุความร้อนจำเพาะ** (specific heat capacity) สูง จากสมบัติดังกล่าวทำให้น้ำดูดซับพลังงานความร้อนได้ดี ดังนั้นการที่สิ่งมีชีวิตมีน้ำเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ อุณหภูมิภายในร่างกายจึงเปลี่ยนแปลงได้น้อย

น้ำกับแรงโคฮีชันและแรงแอดฮีชัน

การลำเลียงน้ำในพืชเกิดขึ้นได้เมื่อมีแรงดึงจากการคายน้ำและจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อโมเลกุลของน้ำต่อกันไม่ขาดตอน ซึ่งเกิดจากแรงยึดเหนี่ยวด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของน้ำ เรียกว่า แรงโคฮีชัน (cohesion) และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้ำกับพื้นผิว เช่น ผนังเซลล์ เรียกว่า แรงแอดฮีชัน (adhesion) ดังรูป 2.11



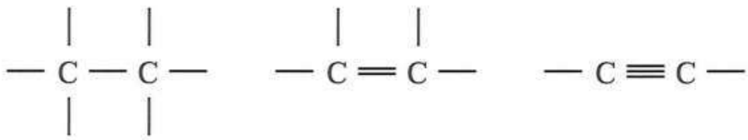
รูป 2.11 การลำเลียงน้ำในไซเล็ม โดยอาศัยแรงโคฮีชันและแรงแอดฮีชัน

? สมบัติของน้ำเกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์อย่างไร

2.3 สารประกอบคาร์บอนในสิ่งมีชีวิต

สารประกอบคาร์บอนที่พบในสิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่จัดเป็นสารอินทรีย์ซึ่งมีหลายประเภท เช่น คาร์โบไฮเดรต กรดแอมิโน โปรตีน ยูเรีย มีเทน ลิพิด และกรดนิวคลิอิก ซึ่งสารประกอบคาร์บอนเหล่านี้จะมีอะตอมไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบ และอาจมีธาตุอื่น ๆ เช่น ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และกำมะถันเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย **สารประกอบคาร์บอนมีโครงสร้างพื้นฐานอย่างไร**

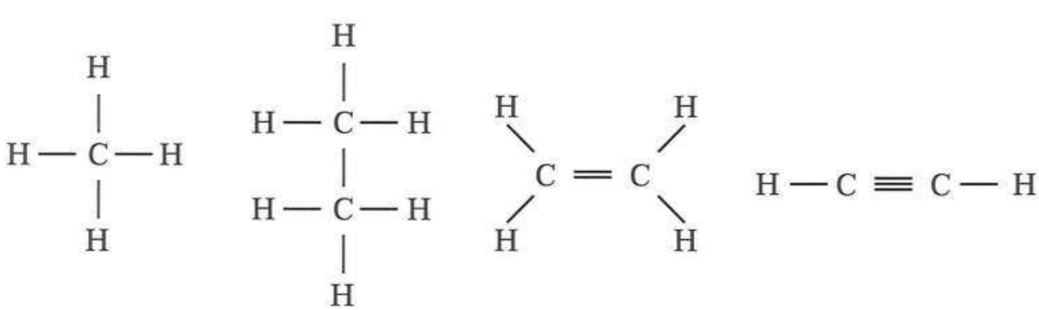
อะตอมคาร์บอนมีเวเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ 4 จึงสามารถใช้อิเล็กตรอนร่วมกับอะตอมอื่นเกิดเป็นพันธะโคเวเลนต์ได้สูงสุด 4 พันธะ เมื่อเกิดการสร้างพันธะโคเวเลนต์ระหว่างอะตอมของคาร์บอนอาจเกิดเป็นพันธะเดี่ยว พันธะคู่ และพันธะสาม ดังรูป 2.12



พันธะเดี่ยว พันธะคู่ พันธะสาม

รูป 2.12 พันธะโคเวเลนต์ระหว่างอะตอมของคาร์บอน

นอกจากนี้อะตอมคาร์บอนยังสามารถสร้างพันธะโคเวเลนต์กับอะตอมของธาตุอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน โดยสารอินทรีย์ที่มีอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจนเท่านั้นเป็นองค์ประกอบ เรียกว่า สารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น มีเทน อีเทน เอทิลีน และอะเซทิลีน ดังรูป 2.13



มีเทน อีเทน เอทิลีน อะเซทิลีน

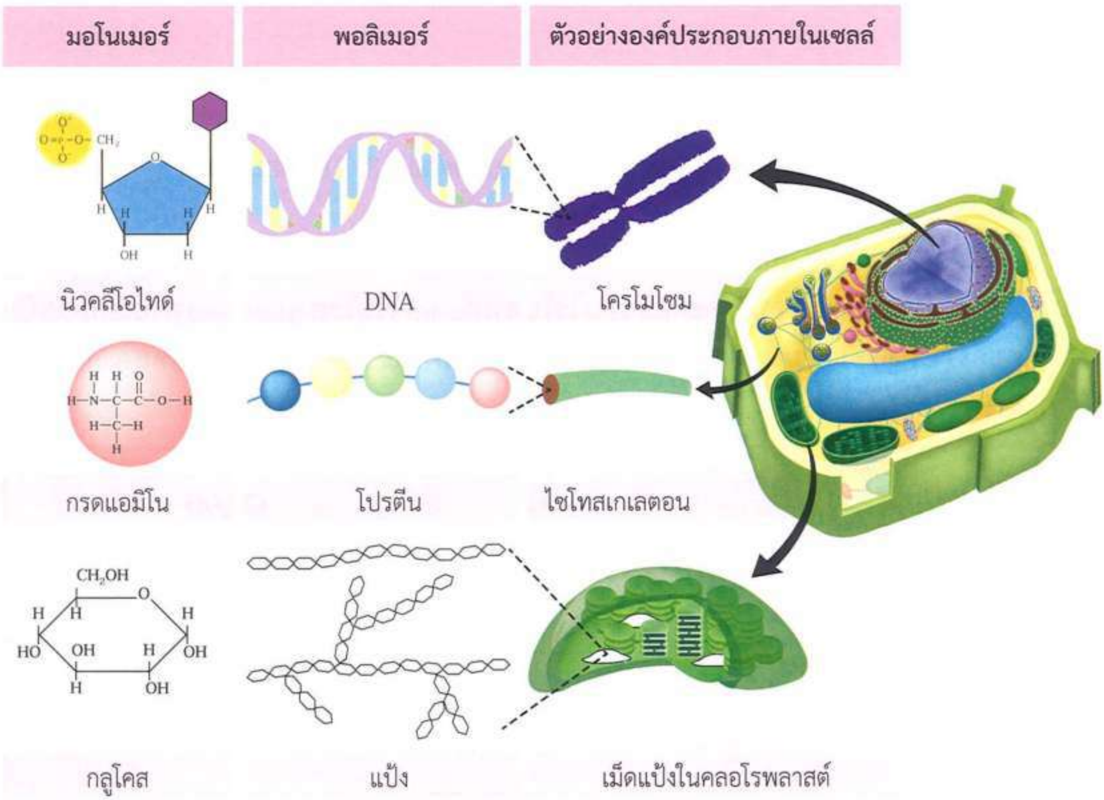
รูป 2.13 สารประกอบไฮโดรคาร์บอน

กลุ่มของอะตอมที่แสดงสมบัติเฉพาะในโมเลกุล เรียกว่า **หมู่ฟังก์ชัน** (functional group) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี ในการจำแนกสารประกอบคาร์บอนชนิดต่าง ๆ จึงมักใช้หมู่ฟังก์ชันเป็นเกณฑ์ เช่น กรดแอมิโนมีหมู่แอมิโน ($-NH_2$) กับหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) เป็นหมู่ฟังก์ชัน น้ำตาลมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หมู่คาร์บอนิล (-C=O) เป็นหมู่ฟังก์ชัน ตัวอย่างหมู่ฟังก์ชันบางชนิดแสดงดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 หมู่ฟังก์ชันบางชนิดที่พบในสารประกอบคาร์บอน

ชื่อหมู่ฟังก์ชัน	โครงสร้าง	ตัวอย่างของแหล่งที่พบ
ไฮดรอกซิล	— OH	• คาร์โบไฮเดรต เช่น น้ำตาล • แอลกอฮอล์ เช่น กลีเซอรอล
คาร์บอกซิล	O ‖ — C — OH	• กรดแอมิโน • ลิพิด เช่น กรดไขมัน
คาร์บอนิลกลุ่มคีโตน	O ‖ — C —	• คาร์โบไฮเดรต เช่น ฟรักโทส ไรบูโลส
คาร์บอนิลกลุ่มอัลดีไฮด์	O ‖ — C — H	• คาร์โบไฮเดรต เช่น กลูโคส ไรโบส กาแล็กโทส
แอมิโน	H | — N — H	• กรดแอมิโน
ซัลฟ์ไฮดริล	— S — H	• กรดแอมิโนบางชนิด เช่น ซิสเทอีน
ฟอสเฟต	O ‖ — O — P — O^- | O^-	• ลิพิด เช่น ฟอสโฟลิพิด • กรดนิวคลิอิก เช่น DNA RNA • ATP

สารประกอบคาร์บอนขนาดใหญ่ส่วนมากเป็น**พอลิเมอร์** (polymer) ที่เกิดจากหน่วยย่อยเรียกว่า **มอโนเมอร์** (monomer) หลายโมเลกุลเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเคมี เช่น การเชื่อมต่อกันของกลูโคสกลายเป็นแป้ง การเชื่อมต่อกันของกรดแอมิโนเกิดเป็นโปรตีน การเชื่อมต่อกันของนิวคลีโอไทด์เกิดเป็นสาย DNA ซึ่งสารเหล่านี้เป็นองค์ประกอบภายในเซลล์สิ่งมีชีวิต ดังรูป 2.14



รูป 2.14 พอลิเมอร์ที่พบในเซลล์สิ่งมีชีวิต

2.3.1 คาร์โบไฮเดรต

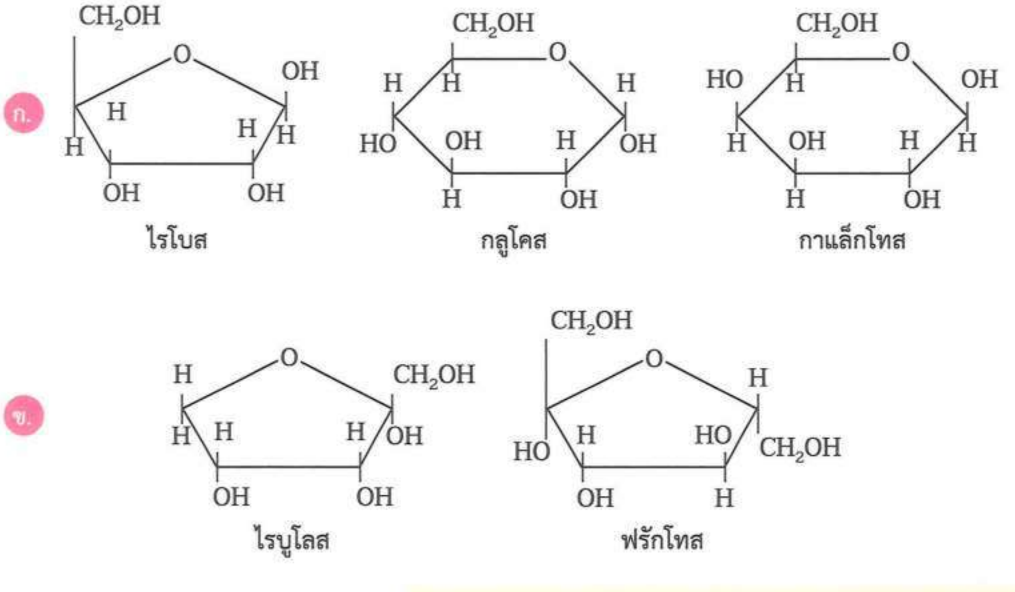
คาร์โบไฮเดรตเป็นสารอาหารหลักที่ให้พลังงานกับสิ่งมีชีวิต ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน พบได้ทั่วไป เช่น น้ำตาล แป้ง เซลลูโลส และไกลโคเจน โดยส่วนใหญ่จะพบแป้งและเซลลูโลสในพืช ส่วนไกลโคเจนพบในเซลล์ตับและกล้ามเนื้อของสัตว์

คาร์โบไฮเดรตแบ่งตามขนาดของโมเลกุลได้เป็น **มอโนแซ็กคาไรด์** (monosaccharide) **ไดแซ็กคาไรด์** (disaccharide) และ**พอลิแซ็กคาไรด์** (polysaccharide)

มอโนแซ็กคาไรด์

มอโนแซ็กคาไรด์ เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีขนาดโมเลกุลเล็กที่สุด มีรสหวาน ละลายได้ในน้ำ โมเลกุลของมอโนแซ็กคาไรด์ประกอบด้วยอะตอมของธาตุคาร์บอนตั้งแต่ 3-7 อะตอม

เพนโทส (pentose) และเฮ็กโซส (hexose) เป็นมอโนแซ็กคาไรด์ที่พบมากในธรรมชาติ โดยเพนโทสเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม เช่น **ไรโบส** (ribose) **ไรบูโลส** (ribulose) ส่วนเฮ็กโซสเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 อะตอม เช่น **กลูโคส** (glucose) **ฟรักโทส** (fructose) และ**กาแล็กโทส** (galactose) ดังรูป 2.15



รูป 2.15 ก. มอโนแซ็กคาไรด์ที่มีหมู่คาร์บอนิลกลุ่มอัลดีไฮด์
ข. มอโนแซ็กคาไรด์ที่มีหมู่คาร์บอนิลกลุ่มคีโตน

เมื่อพิจารณาหมู่ฟังก์ชันของมอโนแซ็กคาไรด์ พบว่ามีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนหลายหมู่ และแบ่งมอโนแซ็กคาไรด์ได้เป็น 2 ประเภทคือ

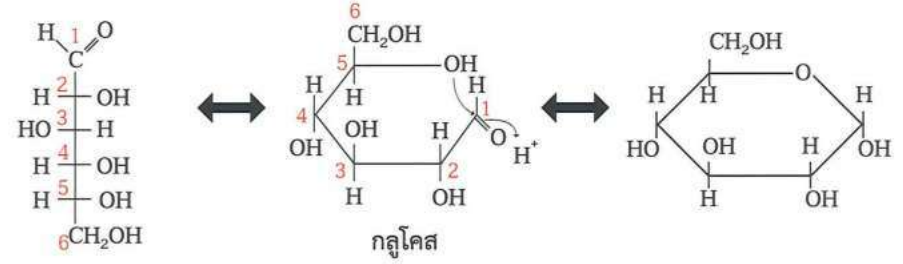
มอโนแซ็กคาไรด์ที่มีหมู่คาร์บอนิลกลุ่มแอลดีไฮด์ ได้แก่ ไรโบส กลูโคส และกาแล็กโทส มอโนแซ็กคาไรด์ที่มีหมู่คาร์บอนิลกลุ่มคีโตน ได้แก่ ไรบูโลสและฟรักโทส โดยมอโนแซ็กคาไรด์ส่วนใหญ่จะมีโครงสร้างอยู่ในรูปแบบวง ดังรูป 2.15

ความรู้เพิ่มเติม

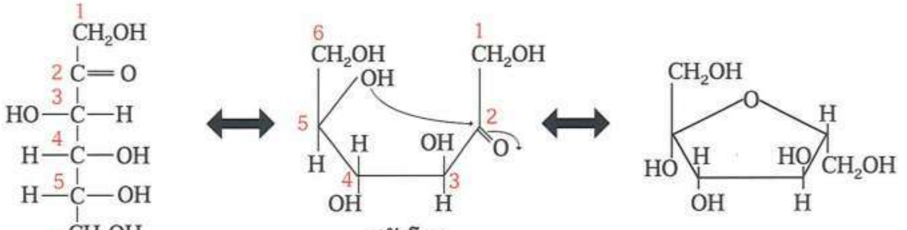
มอโนแซ็กคาไรด์เมื่อนำไปทดสอบกับสารละลายเบเนดิกต์ จะให้อิเล็กตรอนกับคอปเปอร์(II)ไอออน (Cu^{2+}) ในสารละลายเบเนดิกต์ เกิดเป็นคอปเปอร์(I)ออกไซด์ (Cu_2O) ที่มีลักษณะเป็นตะกอนสีแดงอิฐ สมบัตินี้เกิดจากการที่มอโนแซ็กคาไรด์แต่ละชนิดมีหมู่แอลดีไฮด์หรือคีโตนซึ่งให้อิเล็กตรอนได้ ในกรณีนี้มอโนแซ็กคาไรด์เป็นตัวรีดิวส์ เนื่องจากเป็นตัวให้อิเล็กตรอน (เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน) และคอปเปอร์(II)ไอออนเป็นตัวออกซิไดส์ เนื่องจากเป็นตัวรับอิเล็กตรอน (เกิดปฏิกิริยารีดักชัน)

ความรู้เพิ่มเติม

การนับตำแหน่งของคาร์บอนในสูตรโครงสร้างโมเลกุลของน้ำตาลเฮกโซส ให้เริ่มนับจากปลายด้านที่ใกล้กับหมู่คาร์บอนิลเป็นหลัก



กลูโคส



ฟรักโทส

ไดแซ็กคาไรด์

ไดแซ็กคาไรด์ประกอบด้วยมอโนแซ็กคาไรด์ 2 โมเลกุลเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ เรียกว่า**พันธะไกลโคซิดิก** (glycosidic bond) ไดแซ็กคาไรด์ที่พบมาก ได้แก่ **ซูโครส** (sucrose) **มอลโทส** (maltose) และ**แล็กโทส** (lactose)

ซูโครส ประกอบด้วยกลูโคส และฟรักโทส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก แบบ α - 1,2 (คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของกลูโคสเชื่อมต่อกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ของฟรักโทส) ซูโครสเป็นน้ำตาลที่พบได้ทั่วไปในผลไม้ และพืชต่าง ๆ เช่น น้ำตาลที่ได้จากอ้อย มะพร้าว และตาลโตนด ดังรูป 2.16

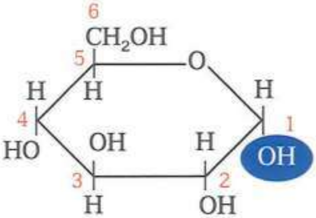




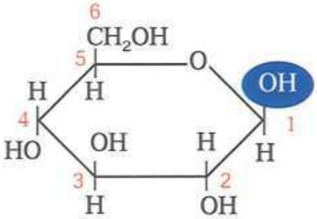
ต้นอ้อยและน้ำตาลทราย

ความรู้เพิ่มเติม

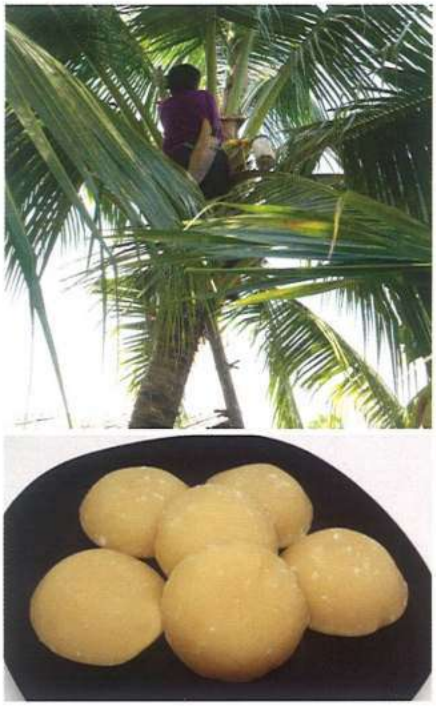
หมู่ไฮดรอกซิลและอะตอมของไฮโดรเจนที่เชื่อมต่อกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของกลูโคส มีการจัดเรียงในระนาบ 3 มิติ ที่แตกต่างกัน จากภาพถ้าหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ด้านล่างของระนาบ เรียกว่า α กลูโคส แต่ถ้าอยู่เหนือระนาบ เรียกว่า β กลูโคส ดังภาพ



α กลูโคส



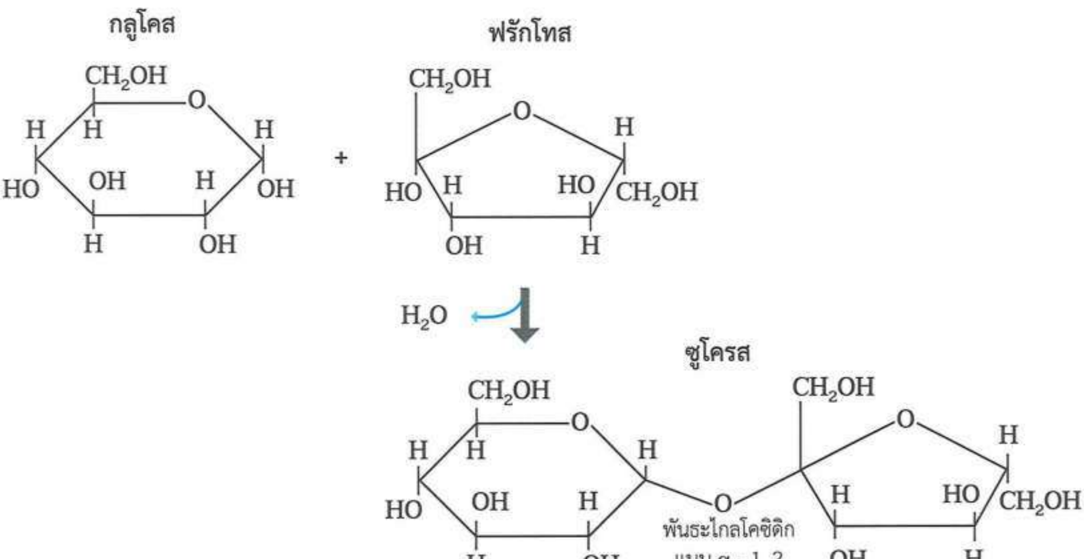
β กลูโคส



ต้นมะพร้าวและน้ำตาลมะพร้าว

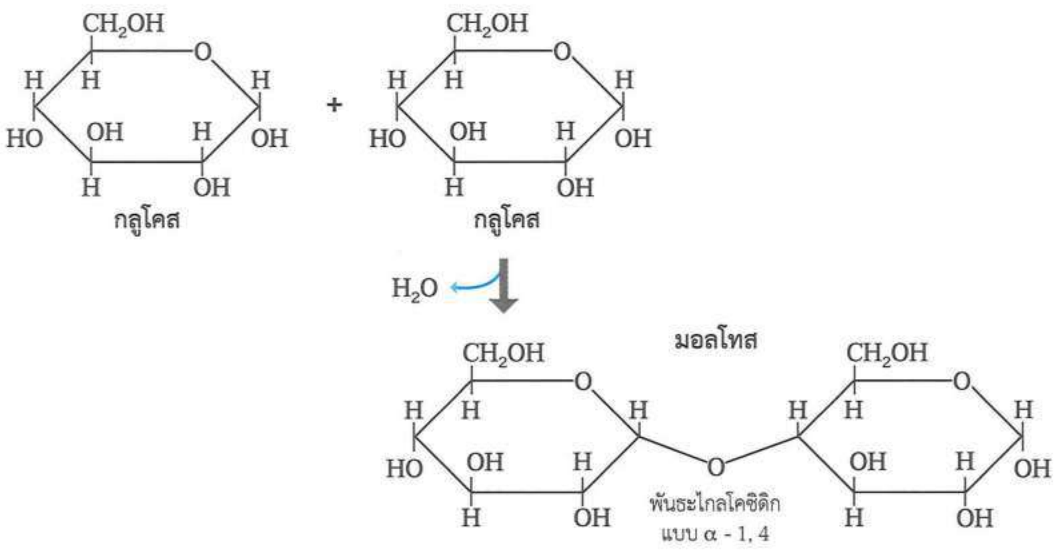


ต้นตาลโตนดและน้ำตาลโตนด



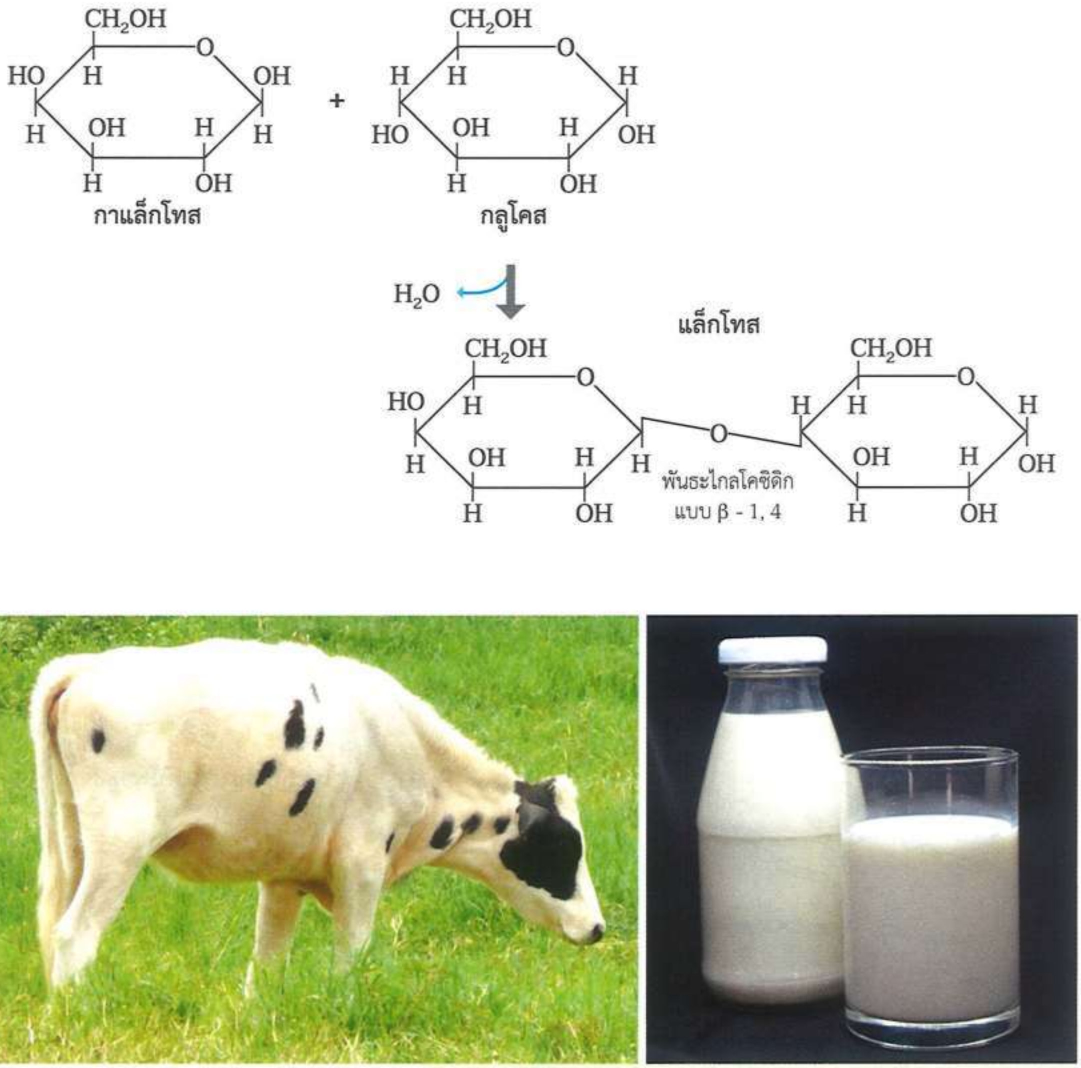
รูป 2.16 สูตรโครงสร้างของซูโครส และตัวอย่างแหล่งที่พบ

มอลโทสประกอบด้วย กลูโคส 2 โมเลกุลเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก แบบ α - 1,4 (คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของกลูโคสเชื่อมต่อกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของกลูโคสอีกโมเลกุล) ดังรูป 2.17 มอลโทสเป็นน้ำตาลที่พบได้ในผลิตภัณฑ์ที่เรียกว่า มอลต์ (malt) ซึ่งเป็นการแปรรูปเมล็ดธัญพืชโดยส่วนใหญ่จะเป็นพืชจำพวกข้าว เช่น การผลิตมอลต์ข้าวเป็นการนำเมล็ดข้าวมาแช่น้ำแล้วปล่อยให้งอก ซึ่งในขณะที่เมล็ดข้าวงอกจะมีการสร้างเอนไซม์ เช่น อะไมเลส มาย่อยแป้งให้มีโมเลกุลเล็กลงเป็นมอลโทสและกลูโคส จากนั้นนำเมล็ดข้าวที่งอกมาให้ความร้อนเพื่อหยุดการงอก ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตมอลต์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น มอลต์ข้าวกล้องสำหรับหุงรับประทาน โจ๊กข้าวมอลต์ เครื่องดื่มมอลต์สกัด



รูป 2.17 สูตรโครงสร้างของมอลโทส

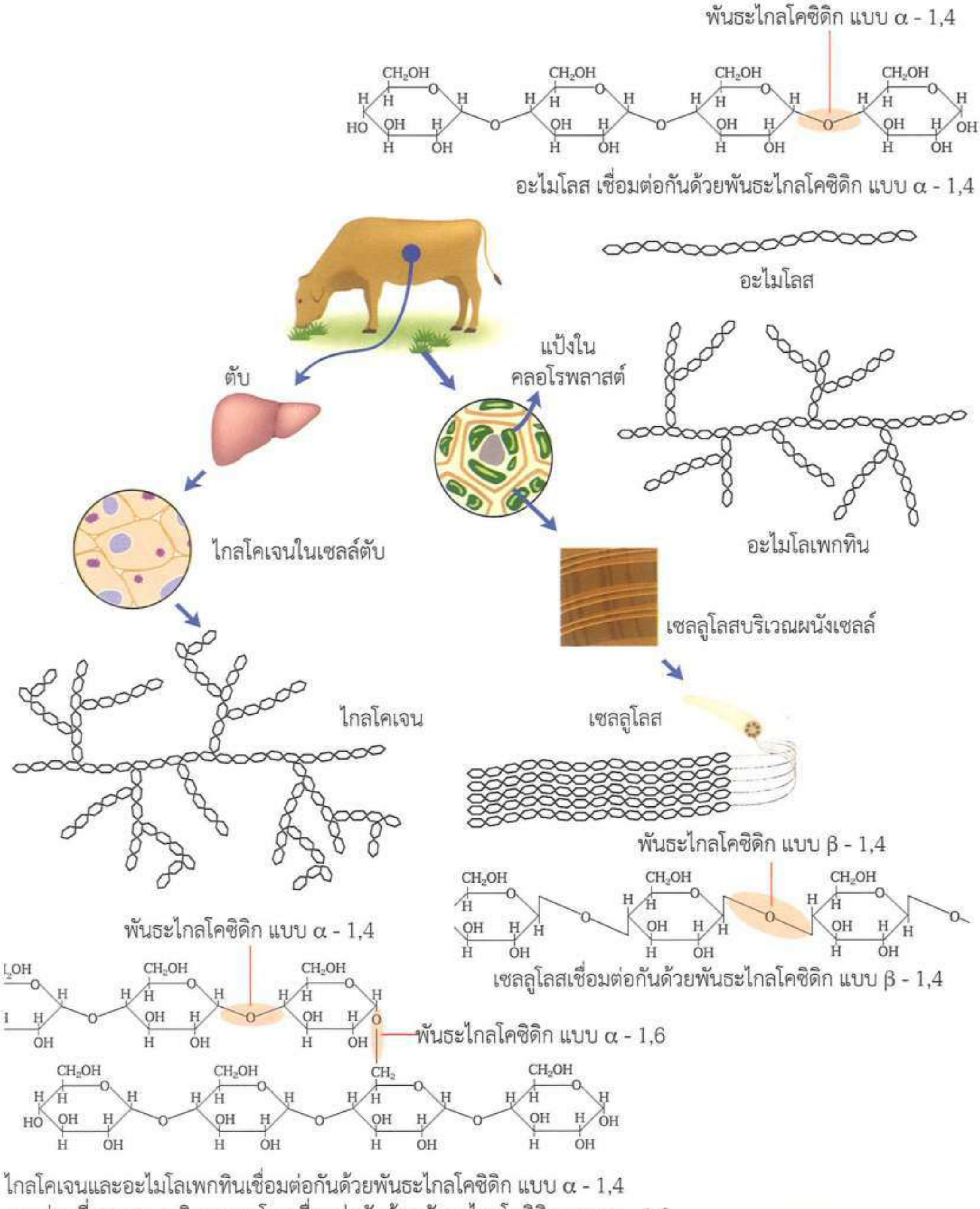
แล็กโทสประกอบด้วยกาแล็กโทสรวมตัวกับกลูโคส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก แบบ β - 1,4 (คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของกาแล็กโทสเชื่อมกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของกลูโคส) แล็กโทสเป็นน้ำตาลที่พบในน้ำนมของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม ดังรูป 2.18



รูป 2.18 สูตรโครงสร้างของแล็กโทสและตัวอย่างแหล่งที่พบ

พอลิแซ็กคาไรด์

พอลิแซ็กคาไรด์ เป็นคาร์โบไฮเดรตโมเลกุลใหญ่ เกิดจากมอโนแซ็กคาไรด์หลายโมเลกุลเชื่อมต่อกันเป็นสายยาว พอลิแซ็กคาไรด์แตกต่างกันที่ชนิด จำนวน และรูปแบบการเชื่อมต่อของมอโนแซ็กคาไรด์ที่เป็นองค์ประกอบ บางชนิดเป็นสายโซ่ยาวตรง เช่น อะไมโลส เซลลูโลส บางชนิดมีกิ่งก้านแยกออกไป เช่น อะไมโลเพกทิน ไกลโคเจน ดังรูป 2.19



รูป 2.19 พอลิแซ็กคาไรด์

แป้ง (starch) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ประกอบด้วยโมเลกุล 2 แบบ คือ **อะไมโลส** (amylose) และ **อะไมโลเพกทิน** (amylopectin) ซึ่งเกิดจากกลูโคสเชื่อมต่อกันเป็นสายยาว

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสเรียงต่อกันเป็นสายยาว ไม่มีการแตกแขนง เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก แบบ α - 1,4 (คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของกลูโคสเชื่อมต่อกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของกลูโคสโมเลกุลถัดไป) ดังรูป 2.19 อะไมโลสละลายน้ำได้ไม่ดี ทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนให้สีน้ำเงิน

อะไมโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสเรียงต่อกันเป็นสายยาวและมีการแตกแขนง ส่วนที่เป็นสายยาวเกิดจากกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก แบบ α - 1,4 เหมือนกับอะไมโลส ส่วนที่แตกแขนงเกิดจากกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก แบบ α - 1,6 (คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของกลูโคสโมเลกุลแรกของส่วนที่แตกแขนงเชื่อมต่อกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคสที่อยู่บนสายยาว) ดังรูป 2.19 อะไมโลเพกทินละลายน้ำได้ดีกว่าอะไมโลส ทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนให้สีม่วงแดง อะไมโลเพกทินเมื่อทำให้สุกมีลักษณะใสและเหนียว ดูดซับน้ำได้น้อยและเกิดการพองตัวได้น้อยกว่าอะไมโลส

ไกลโคเจน (glycogen) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เก็บสะสมในเซลล์ตับและกล้ามเนื้อของสัตว์ ประกอบด้วยกลูโคสที่ต่อกันเป็นสายยาวมีแขนงแตกกิ่งก้านเป็นสายสั้น ๆ จำนวนมาก โครงสร้างของไกลโคเจนคล้ายอะไมโลเพกทินแต่แขนงของไกลโคเจนมีจำนวนแขนงมากกว่า ดังรูป 2.19

เซลลูโลส เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยกลูโคสจำนวนมากมาต่อกันเป็นสายโซ่ยาวตรง คล้ายอะไมโลส แต่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก แบบ β - 1,4 (คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของกลูโคสเชื่อมต่อกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของกลูโคสโมเลกุลถัดไป) แต่ละสายยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน ดังรูป 2.19 เซลลูโลสไม่ละลายน้ำ แต่สามารถดูดซับน้ำได้ เซลลูโลสเป็นสารประกอบคาร์บอนจากสิ่งมีชีวิตที่มีมากที่สุดในโลก ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของผนังเซลล์พืช

มนุษย์ได้รับเซลลูโลสเข้าสู่ร่างกายจากการรับประทานอาหาร เช่น ผัก ผลไม้ แต่เซลลูโลสจะไม่ถูกย่อยเนื่องจากในร่างกายมนุษย์ไม่มีเอนไซม์สำหรับย่อยเซลลูโลสเหลือเป็นกากใยอาหารจึงเพิ่มปริมาณกากใยในอุจจาระทำให้ขับถ่ายสะดวก ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่

นอกจากนี้ยังมีพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่น ๆ เช่น **ไคทิน** (chitin) พบในเปลือกของพวก กุ้ง ปู แมลง หรือ**เพกทิน** (pectin) พบในผนังเซลล์พืช เช่น ด้านในเปลือกผลส้มโอ และยังมีคาร์โบไฮเดรตอื่นที่มีสายเพปไทด์เป็นส่วนประกอบ เช่น **เพปทิโดไกลแคน** (peptidoglycan) ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรีย

แป้งเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่พบในเซลล์พืช โดยพืชจะเปลี่ยนกลูโคสที่ได้จากกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงให้อยู่ในรูปของแป้งแล้วเก็บสะสมไว้ตามส่วนต่าง ๆ เช่น เมล็ดข้าว ลำต้นสาคู รากมันสำปะหลัง รากเท้ายายม่อม ดังรูป 2.20



ข้าว



สาคู



มันสำปะหลัง

รูป 2.20 ตัวอย่างพืชที่พบแป้งสะสม

กิจกรรม 2.1 ลักษณะของแป้งข้าวเหนียวและแป้งข้าวเจ้า

จุดประสงค์

ทดลองเพื่อศึกษาสมบัติของแป้งที่มีสัดส่วนของอะไมโลสกับอะไมโลเพกทินแตกต่างกัน

วัสดุและอุปกรณ์

1. แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวเจ้า
2. น้ำ 25 mL
3. ช้อนตักสาร เบอร์ 1
4. บีกเกอร์ขนาด 50 mL จำนวน 2 ใบ
5. แท่งแก้วคนสาร 2 อัน
6. กระบอกตวงขนาด 50 mL
7. ชุดตะเกียงแอลกอฮอล์ หรือ เตาไฟฟ้า

วิธีการทำกิจกรรม

ตอนที่ 1

1. นำแป้งปริมาณ 4 ช้อน เบอร์ 1 ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 50 mL ผสมน้ำ 25 mL คนให้แป้งละลายน้ำกลายเป็นน้ำแป้ง

2. นำน้ำแป้งไปให้ความร้อนจนแป้งสุก โดยคนน้ำแป้งตลอดเวลาที่ให้ความร้อน
3. ใช้แท่งแก้วคนสารจุ่มในน้ำแป้งหลังแป้งสุกในขณะที่แป้งยังร้อนอยู่เพื่อสังเกตลักษณะของแป้ง เช่น ความใส ความเหนียว ความหนืด
4. สังเกตการเปลี่ยนแปลง และบันทึกผลการทดลอง

ชนิดของแป้ง	ลักษณะของแป้ง		ลักษณะแป้งที่เกาะบนแท่งแก้วหลังได้รับความร้อน
	ก่อนได้รับความร้อน	หลังได้รับความร้อน	
1. แป้งข้าวเหนียว			
2. แป้งข้าวเจ้า			

คำถามท้ายกิจกรรม

? จากผลการทดลองแป้งแต่ละชนิดหลังได้รับความร้อนมีลักษณะเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

? นักเรียนคิดว่าอะไรเป็นสาเหตุทำให้ลักษณะของแป้งก่อนและหลังได้รับความร้อนมีความแตกต่างกัน

ตอนที่ 2

ให้นักเรียนสืบค้นข้อมูลเกี่ยวกับขนมไทยชนิดต่าง ๆ เช่น ขนมเรไร ขนมถ้วยฟู ขนมบัวลอย ขนมด้วง ขนมต้ม ขนมปลากริมไข่เต่า ขนมลืมกลืน แล้วอภิปรายร่วมกันเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะของขนมที่ปรากฏกับแป้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบ ส่วนผสมของแป้งแต่ละชนิดที่มีปริมาณอะไมโลสแตกต่างกันทำให้ขนมมีลักษณะแตกต่างกันอย่างไร

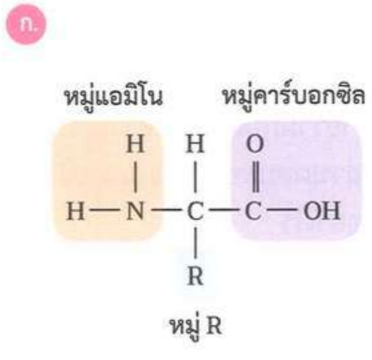
? ข้าวเจ้าและข้าวเหนียวที่ทำให้สุก มีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างไร และสมบัติใดที่แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกทินแตกต่างกัน

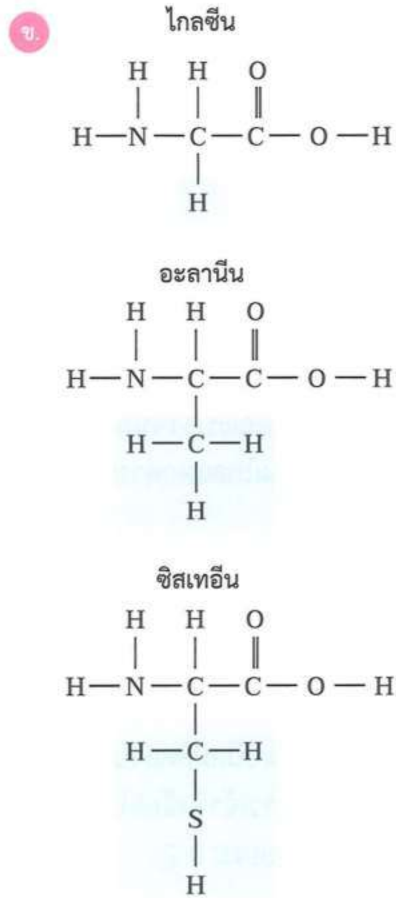
พืชแต่ละชนิดมีสัดส่วนของปริมาณอะไมโลส และอะไมโลเพกทินแตกต่างกันทำให้แป้งมีสมบัติต่างกัน เช่น ข้าวเจ้าซึ่งมีอะไมโลสสูง (ร้อยละ 7-33) เมื่อหุงสุกจะร่วนและแข็งกว่าข้าวเหนียวซึ่งมีอะไมโลสต่ำ (ร้อยละ 0-2)

2.3.2 โปรตีน

โปรตีนเป็นสารโมเลกุลขนาดใหญ่ประกอบด้วย**กรดแอมิโน** (amino acid) มาเชื่อมต่อกัน กรดแอมิโนประกอบด้วยอะตอมของธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน เป็นหลัก นอกจากนี้โปรตีนบางชนิดอาจมีอะตอมของธาตุอื่น ๆ อีก เช่น กำมะถัน โปรตีนทำหน้าที่หลากหลาย เช่น เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ และส่วนประกอบของเนื้อเยื่อต่าง ๆ

กรดแอมิโนทุกชนิดประกอบด้วย อะตอมไฮโดรเจน หมู่แอมิโน หมู่คาร์บอกซิล ซึ่งเชื่อมต่ออยู่กับคาร์บอนอะตอมเดียวกัน และมีหมู่ที่เชื่อมต่อกับคาร์บอนอะตอมนี้ที่เรียกว่า **หมู่ R** ดังรูป ซึ่งในกรดแอมิโนแต่ละชนิดจะมีหมู่ R แตกต่างกันทำให้มีสมบัติต่างกัน เช่น ไกลซีน อะลานีน ซิสเทอีน ดังรูป 2.21





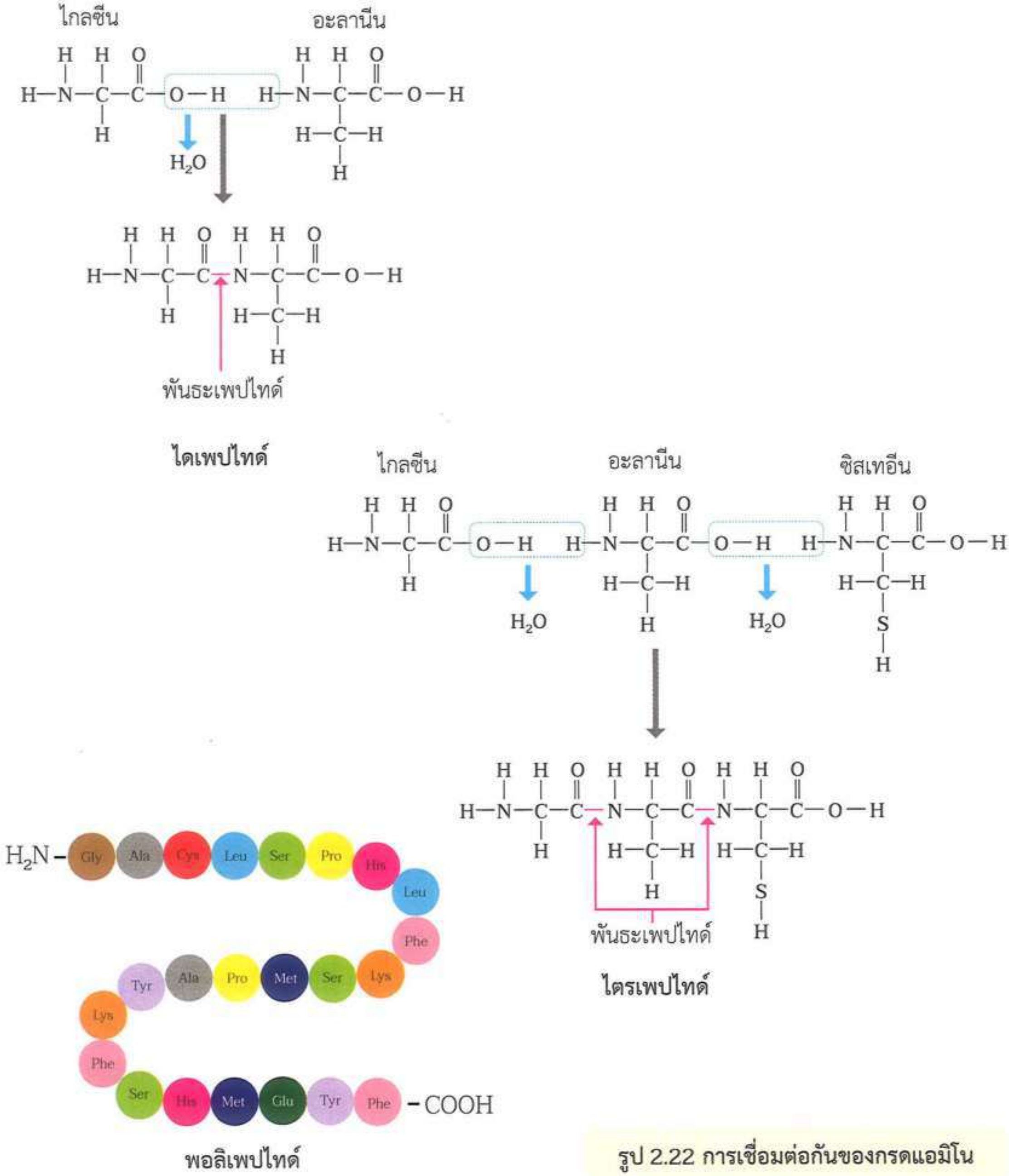
รูป 2.21 โครงสร้างของกรดแอมิโน
ก. โครงสร้างทั่วไปของกรดแอมิโน
ข. ตัวอย่างของหมู่ R ในกรดแอมิโนบางชนิด

กรดแอมิโนที่ร่างกายต้องการและสังเคราะห์ขึ้นเองไม่ได้ต้องได้รับจากอาหาร เรียกว่า **กรดแอมิโนที่จำเป็น** (essential amino acid) ส่วนกรดแอมิโนที่ร่างกายสามารถสังเคราะห์ได้เอง เรียกว่า **กรดแอมิโนที่ไม่จำเป็น** (nonessential amino acid) สิ่งมีชีวิตสังเคราะห์โปรตีนจากกรดแอมิโน 20 ชนิด ดังตาราง 2.2

ตาราง 2.2 กรดแอมิโน 20 ชนิด

ชื่อกรดแอมิโน	ตัวย่อ	ชื่อกรดแอมิโน	ตัวย่อ
ไอโซลิวซีน (Isoleucine)	Ile	ลิวซีน (Leucine)	Leu
ไลซีน (Lysine)	Lys	เมไทโอนีน (Methionine)	Met
ฟีนิลอะลานีน (Phenylalanine)	Phe	ทรีโอนีน (Threonine)	Thr
ทริปโตเฟน (Tryptophan)	Trp	วาลีน (Valine)	Val
อาร์จินีน (Arginine)	Arg	ฮีสทิดีน (Histidine)	His
อะลานีน (Alanine)	Ala	แอสพาราจีน (Asparagine)	Asn
กรดแอสพาร์ติก (Aspartic acid)	Asp	ซิสเทอีน (Cysteine)	Cys
กรดกลูตามิก (Glutamic acid)	Glu	กลูตามีน (Glutamine)	Gln
ไกลซีน (Glycine)	Gly	โพรลีน (Proline)	Pro
ซีรีน (Serine)	Ser	ไทโรซีน (Tyrosine)	Tyr

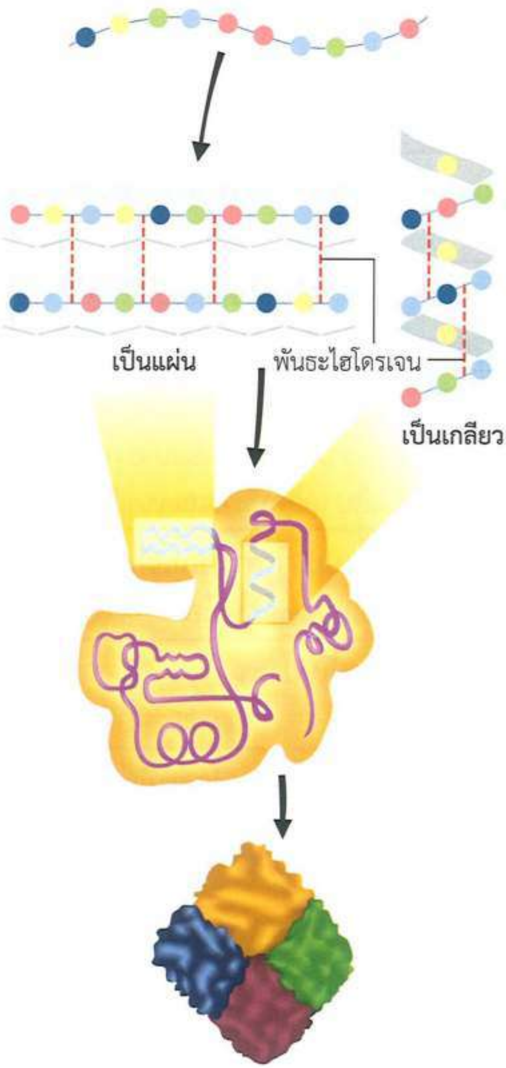
กรดแอมิโนแต่ละหน่วยจะเชื่อมต่อกันเป็นสาย**เพปไทด์** (peptide) ด้วยพันธะโคเวเลนต์ระหว่างหมู่แอมิโนของกรดแอมิโนโมเลกุลหนึ่งกับหมู่คาร์บอกซิลของกรดแอมิโนอีกโมเลกุลหนึ่ง เรียกพันธะนี้ว่า **พันธะเพปไทด์** (peptide bond) โดยเรียกชื่อเพปไทด์ตามจำนวนกรดแอมิโนที่เป็นองค์ประกอบ เช่น เรียกเพปไทด์ที่ประกอบด้วยกรดแอมิโน 2 หรือ 3 หน่วยเชื่อมต่อกัน ว่า **ไดเพปไทด์** (dipeptide) หรือ **ไตรเพปไทด์** (tripeptide) ตามลำดับ และเรียกเพปไทด์ที่ประกอบด้วยกรดแอมิโนจำนวนมากเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวว่า **พอลิเพปไทด์** (polypeptide) ดังรูป 2.22



รูป 2.22 การเชื่อมต่อกันของกรดแอมิโน

? เพปไทด์ที่ประกอบด้วยกรดแอมิโน 4 ชนิด ชนิดละ 1 หน่วย จะสามารถมีสายเพปไทด์ที่มีลำดับกรดแอมิโนที่แตกต่างกันได้กี่แบบ

โปรตีนอาจประกอบด้วย พอลิเพปไทด์ 1 สาย หรือพอลิเพปไทด์หลายสาย สามารถแบ่งโครงสร้างโปรตีนออกเป็น 4 ระดับ ดังรูป 2.23 โดยโปรตีนส่วนใหญ่ที่สามารถทำหน้าที่ได้ในสิ่งมีชีวิตเป็นสายพอลิเพปไทด์ที่เกิดการพับม้วนเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะสามมิติ ซึ่งเหมาะสมกับการทำงาน



รูป 2.23 โครงสร้างของโปรตีน 4 ระดับ

โครงสร้างปฐมภูมิ (primary structure) กรดแอมิโนมาเรียงต่อกันเป็นสายพอลิเพปไทด์ 1 สาย ซึ่งโปรตีนแต่ละชนิดจะมีจำนวนและลำดับของกรดแอมิโนที่จำเพาะ

โครงสร้างทุติยภูมิ (secondary structure) เกิดจากการสร้างพันธะไฮโดรเจนของกรดแอมิโน ทำให้สายพอลิเพปไทด์มีโครงสร้างที่มีลักษณะบิดเป็นเกลียวหรือเป็นแผ่น

โครงสร้างตติยภูมิ (tertiary structure) เกิดจากโครงสร้างทุติยภูมิพับม้วนเข้าหากัน โดยอาศัยแรงยึดเหนี่ยว เช่น แรงไฮโดรโฟบิก พันธะไฮโดรเจน พันธะไอออนิก เกิดเป็นโครงสร้างที่มีความเหมาะสมต่อการทำหน้าที่ต่าง ๆ ของโปรตีน มีลักษณะเป็นสามมิติ เช่น β ฮีโมโกลบิน

โครงสร้างจตุรภูมิ (quaternary structure) ในโปรตีนบางชนิดอาจมีการรวมตัวกันของพอลิเพปไทด์มากกว่า 1 สาย ซึ่งอาจเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกัน อาจมีลักษณะเป็นก้อน เช่น ฮีโมโกลบิน ประกอบด้วยพอลิเพปไทด์ 4 สาย

โปรตีนมีหลากหลายชนิด แต่ละชนิดมีลำดับของการเรียงตัวและชนิดกรดแอมิโนแตกต่างกัน ทำให้มีโครงสร้างต่างกันซึ่งส่งผลต่อหน้าที่ของโปรตีนแต่ละชนิด นอกจากนี้ยังมีโปรตีนที่มีคาร์โบไฮเดรตสายสั้นๆ เป็นส่วนประกอบ เรียกว่า **ไกลโคโปรตีน** (glycoprotein) เช่น โปรตีนที่เยื่อหุ้มเซลล์ ทำหน้าที่เกี่ยวกับการจดจำของเซลล์ โปรตีนสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ตามหน้าที่ได้ดังตัวอย่างในตาราง 2.3

ตาราง 2.3 ตัวอย่างประเภทโปรตีนที่มีหน้าที่ต่างกัน

ประเภทของโปรตีน	หน้าที่
โปรตีนลำเลียง (transport protein)	ลำเลียงสาร เช่น โปรตีนช่อง (channel protein) ที่พบบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์
เอนไซม์ (enzyme)	เร่งปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ เช่น แลกเทสช่วยในการย่อยแล็กโทสที่อยู่ในน้ำนม ดีเอ็นเอพอลิเมอเรสช่วยในการสร้างโมเลกุล DNA
โปรตีนโครงสร้าง (structural protein)	เป็นโครงสร้างของเซลล์ มีความแข็งแรง เช่น ไฟโบรอินในเส้นไหมและใยแมงมุม อีลาสตินในเอ็นยึดกระดูก คอลลาเจนในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน แอกทินในกล้ามเนื้อ เคราตินในผม ขน เล็บ เกล็ดปลา และเขาสัตว์
โปรตีนสะสม (storage protein)	เป็นสารอาหารสะสม เช่น เคซีนที่พบในน้ำนมมารดา ไวเทลลิน (vitelline) ในไข่แดงช่วยในการเจริญเติบโตของเอ็มบริโอ
โปรตีนเกี่ยวกับภูมิคุ้มกัน (defense protein)	เกี่ยวกับภูมิคุ้มกัน เช่น แอนติบอดี ไลโซไซม์ในน้ำตา
โปรตีนตัวรับ (receptor protein)	ตอบสนองต่อสารเคมีที่มากระตุ้น เช่น โปรตีนตัวรับบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ประสาททำหน้าที่รับสารสื่อประสาทที่หลั่งมาจากเซลล์ประสาทอีกเซลล์หนึ่ง

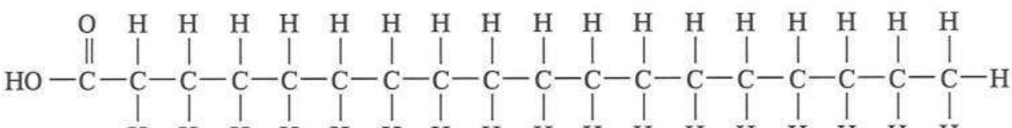
2.3.3 ลิพิด

ลิพิด เป็นสารที่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) เช่น อีเทอร์ เบนซีน คลอโรฟอร์ม และเอทานอล ลิพิดประกอบด้วยธาตุหลัก คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน นอกจากนี้ลิพิดบางชนิดยังมีธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ

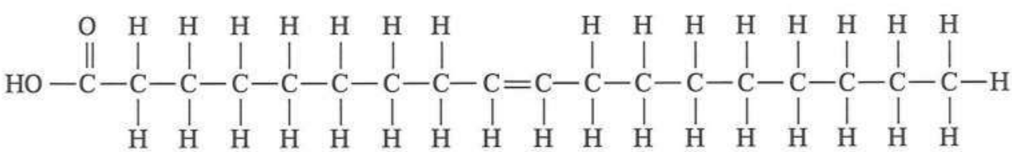
ลิพิดเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ และเป็นสารที่สามารถให้พลังงานแก่สิ่งมีชีวิต โดยให้พลังงานมากกว่าคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนที่มีน้ำหนักเท่ากัน ป้องกันการสูญเสียน้ำ เป็นฉนวนช่วยควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย และป้องกันการกระทบกระแทกของอวัยวะภายใน นอกจากนี้ลิพิดยังเป็นตัวทำละลายที่สำคัญของวิตามิน A D E K ลิพิดมีโครงสร้างพื้นฐานทางเคมีที่หลากหลาย โดยกลุ่มของลิพิดที่สำคัญซึ่งพบในสิ่งมีชีวิต เช่น **กรดไขมัน** (fatty acid) **ไตรกลีเซอไรด์** (triglyceride) **ฟอสโฟลิพิด** (phospholipid) **สเตอรอยด์** (steroid)

กรดไขมัน

กรดไขมัน (fatty acid) เป็นสายไฮโดรคาร์บอนที่มีหมู่คาร์บอกซิลเป็นหมู่ฟังก์ชันอยู่ที่ปลายด้านหนึ่ง โดยกรดไขมันแต่ละชนิดมีจำนวนคาร์บอนที่แตกต่างกันทำให้มีสมบัติต่างกัน กรดไขมัน แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ **กรดไขมันอิ่มตัว** (saturated fatty acid) และ**กรดไขมันไม่อิ่มตัว** (unsaturated fatty acid) กรดไขมันอิ่มตัวมีคาร์บอนทุกอะตอมเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเดี่ยว ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวมีบางพันธะระหว่างอะตอมของคาร์บอนเป็นพันธะคู่ ดังรูป 2.24



กรดไขมันอิ่มตัว



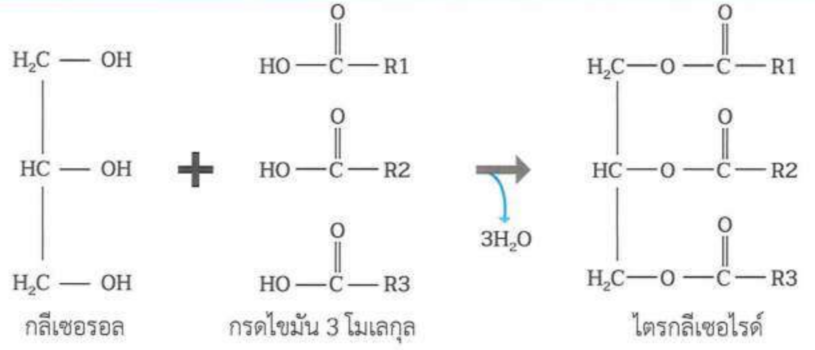
กรดไขมันไม่อิ่มตัว

รูป 2.24 ตัวอย่างโครงสร้างกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัว

โดยทั่วไปกรดไขมันอิ่มตัวได้จากไขมันของสัตว์ เช่น เนย ไขมันจากสัตว์ และน้ำมันพืชบางชนิด เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม ส่วนกรดไขมันไม่อิ่มตัวส่วนใหญ่ได้จากพืช เช่น น้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันทานตะวัน น้ำมันงา ลิพิดที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงจะแข็งตัวที่อุณหภูมิห้องได้ยากกว่าลิพิดที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันที่ร่างกายต้องการและสังเคราะห์ขึ้นเองไม่ได้ต้องได้รับจากอาหาร เรียกว่า **กรดไขมันที่จำเป็น** (essential fatty acid) ส่วนกรดไขมันที่ร่างกายสามารถสังเคราะห์ได้เอง เรียกว่า **กรดไขมันที่ไม่จำเป็น** (nonessential fatty acid)

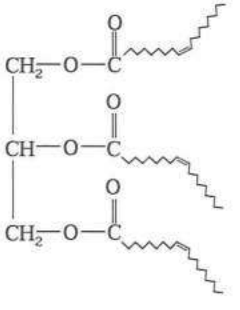
ไตรกลีเซอไรด์

เมื่อกรดไขมันทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ที่เรียกว่า **กลีเซอรอล** (glycerol) จะเกิดเป็น**กลีเซอไรด์** (glyceride) ซึ่งถ้ามีกรดไขมัน 1 โมเลกุล เรียกว่า **มอโนกลีเซอไรด์** (monoglyceride) ถ้ามี 2 โมเลกุล เรียกว่า **ไดกลีเซอไรด์** (diglyceride) และถ้ามี 3 โมเลกุล เรียกว่า **ไตรกลีเซอไรด์** (triglyceride) ดังรูป 2.25 ซึ่งไตรกลีเซอไรด์เป็นลิพิดที่พบมากที่สุดในพืชและสัตว์ ถ้ากลีเซอไรด์มีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้องเรียกว่า **ไขมัน** (fat) แต่ถ้ามีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องเรียกว่า**น้ำมัน** (oil)



รูป 2.25 การสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์

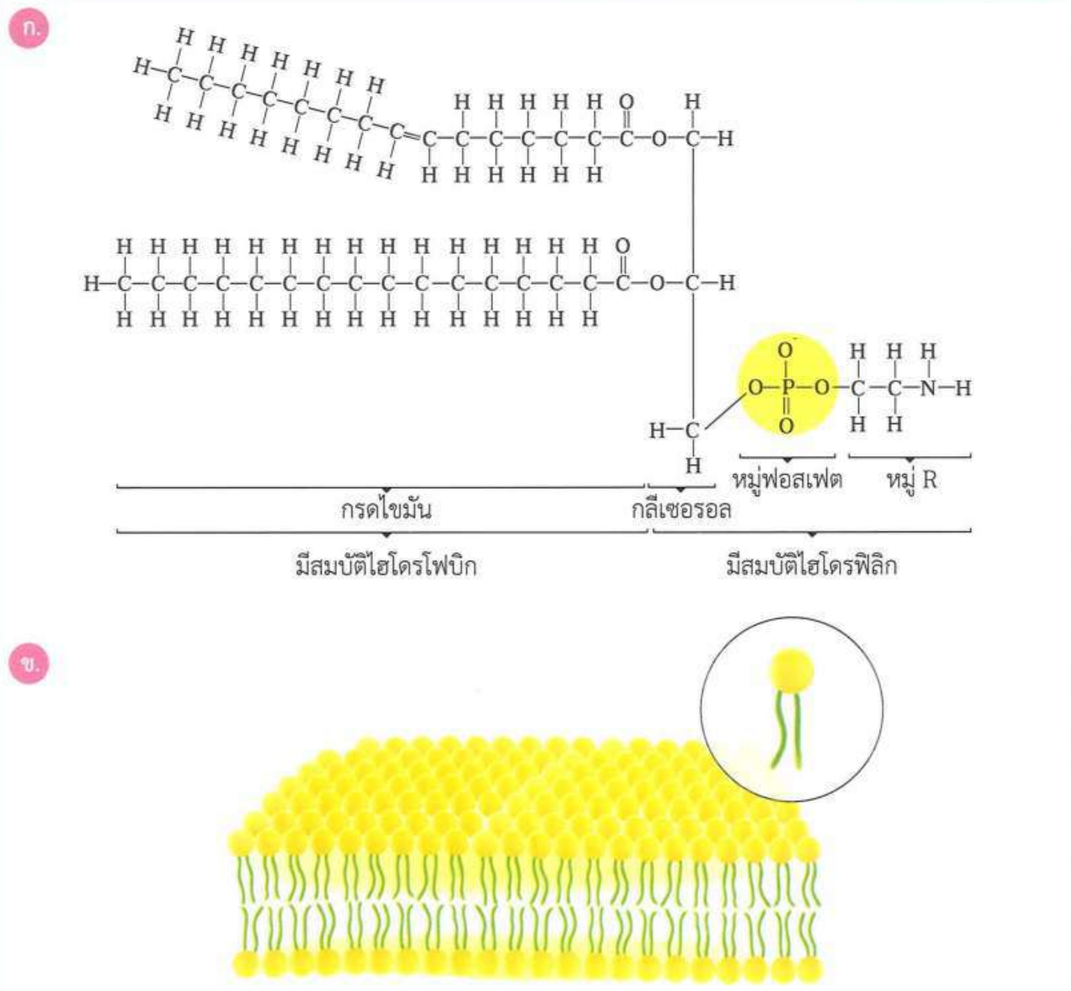
หมู่ R1 R2 R3 อาจมีโครงสร้างเหมือนหรือต่างกันซึ่งอาจจะเป็นกรดไขมันอิ่มตัวหรือเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวทำให้เกิดไตรกลีเซอไรด์ที่แตกต่างกัน ตัวอย่างโครงสร้างไตรกลีเซอไรด์ ดังรูป 2.26



รูป 2.26 โครงสร้างไตรกลีเซอไรด์ที่พบในน้ำมันมะกอก

ฟอสโฟลิพิด

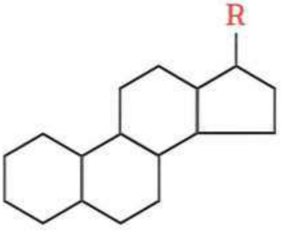
ฟอสโฟลิพิดเป็นองค์ประกอบหลักของเยื่อหุ้มเซลล์ มีโครงสร้างประกอบด้วยกรดไขมัน 2 โมเลกุล เชื่อมต่อกับกลีเซอรอล 1 โมเลกุล และหมู่ฟอสเฟต 1 หมู่ ที่เชื่อมต่ออยู่กับหมู่ R ทำให้ด้านหนึ่งของโมเลกุลมีสมบัติไฮโดรโฟบิก ส่วนอีกด้านหนึ่งมีสมบัติไฮโดรฟิลิก ดังรูป 2.27 ก. เยื่อหุ้มเซลล์ประกอบด้วยฟอสโฟลิพิด 2 ชั้น ซึ่งหันส่วนของโมเลกุลที่มีสมบัติไฮโดรโฟบิกเข้าหากัน ดังรูป 2.27 ข.



รูป 2.27 โครงสร้างของฟอสโฟลิพิด
ก. ส่วนประกอบของฟอสโฟลิพิด ข. ฟอสโฟลิพิด 2 ชั้นที่เป็นองค์ประกอบหลักของเยื่อหุ้มเซลล์

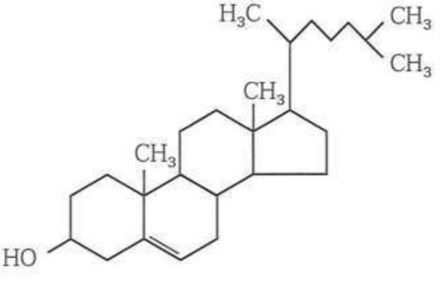
สเตอรอยด์

สเตอรอยด์มีโครงสร้างทั่วไปเป็นวงคาร์บอน 6 อะตอม 3 วง กับวงคาร์บอน 5 อะตอม 1 วง ดังรูป 2.28

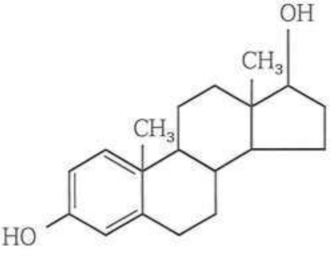


รูป 2.28 โครงสร้างทั่วไปของสเตอรอยด์

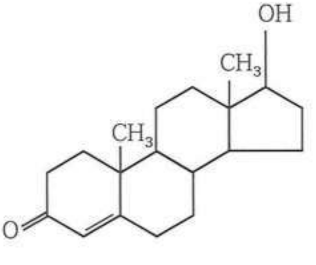
สเตอรอยด์มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับหมู่ R และหมู่ฟังก์ชันอื่น ๆ ที่มาเชื่อมต่อกับวงคาร์บอน สเตอรอยด์ที่สำคัญ คือ **คอเลสเตอรอล** (cholesterol) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ และยังเป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์สเตอรอยด์ชนิดอื่น ๆ เช่น **เอสโทรเจน** (estrogen) **เทสโทสเตอโรน** (testosterone) โดยมีสูตรโครงสร้างดังรูป 2.29



คอเลสเตอรอล



เอสโทรเจน



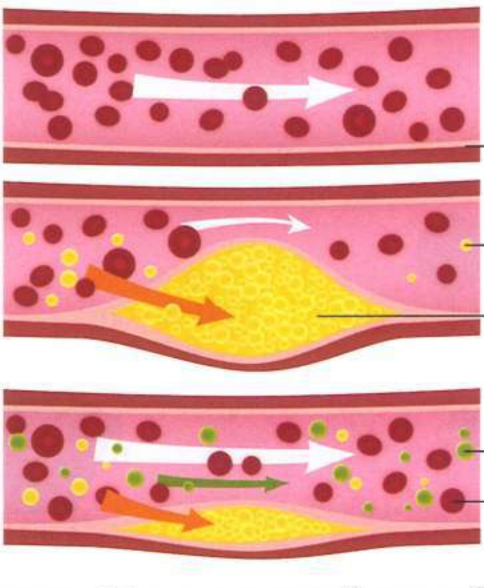
เทสโทสเตอโรน

รูป 2.29 ตัวอย่างของสเตอรอยด์

ความรู้เพิ่มเติม

ในการตรวจสุขภาพร่างกายจะมีการตรวจ คอเลสเตอรอล ไตรกลีเซอไรด์ HDL (high-density lipoproteins) และ LDL (low-density lipoproteins)

การรับประทานอาหารที่มีกรดไขมันอิ่มตัวหรือมีคอเลสเตอรอลมากเกินความต้องการของร่างกาย ไตรกลีเซอไรด์และคอเลสเตอรอลส่วนเกินที่อยู่ใน LDL จะมีการสะสมที่ผนังหลอดเลือดทำให้หลอดเลือดแข็งตัวหรือหลอดเลือดตีบ การรับประทานอาหารที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว ซึ่งเป็นไขมันดีที่มีประโยชน์ จะมี HDL ทำหน้าที่นำคอเลสเตอรอลส่วนเกินไปทำลายที่ตับ เป็นการลดการสะสมของคอเลสเตอรอลบริเวณผนังหลอดเลือด นอกจากนี้ HDL ยังช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการสะสมของ LDL ที่ผนังหลอดเลือด ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้หลอดเลือดแข็งตัวหรืออุดตัน อาจก่อให้เกิดภาวะหัวใจขาดเลือด หรือหลอดเลือดในสมองตีบ ทำให้เสียชีวิตได้



การสะสมของ LDL และคอเลสเตอรอลบริเวณหลอดเลือด

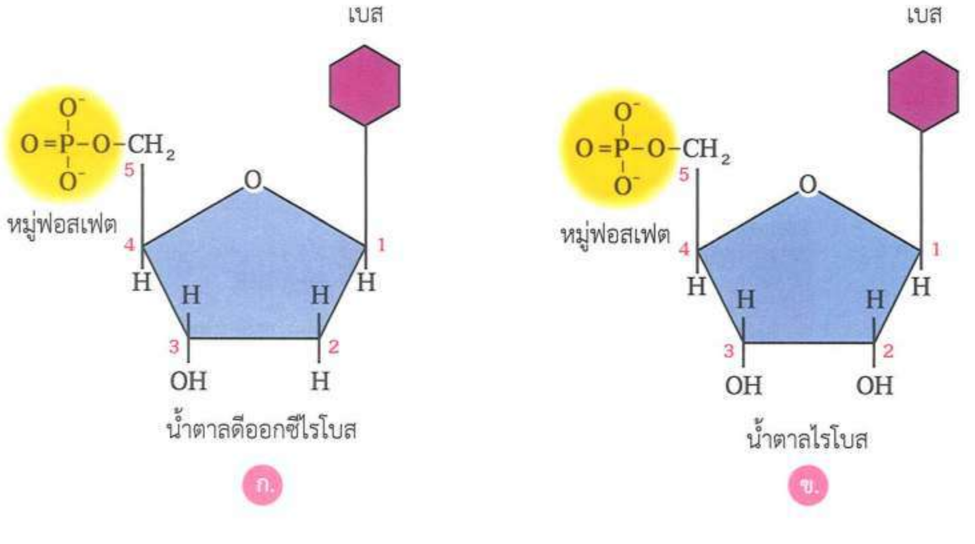
นอกจากนี้ยังมีลิพิดประเภทอื่นๆ เช่น **ไข** (wax) เป็นของแข็ง ไม่ละลายน้ำ ทำหน้าที่หล่อลื่นหรือป้องกันการสูญเสียน้ำ พบได้ในขี้ผึ้ง ผิวของใบไม้ หรือผลไม้บางชนิด และยังพบที่ผิวหนังหรือขนของสัตว์บางชนิด เช่น ขนนก ขนเป็ด

ในบางกรณีลิพิดอาจมีส่วนของคาร์โบไฮเดรตเชื่อมต่ออยู่เรียกโมเลกุลนี้ว่า **ไกลโคลิพิด** (glycolipid) ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ที่พบมากในเยื่อหุ้มเซลล์ประสาท

2.3.4 กรดนิวคลิอิก

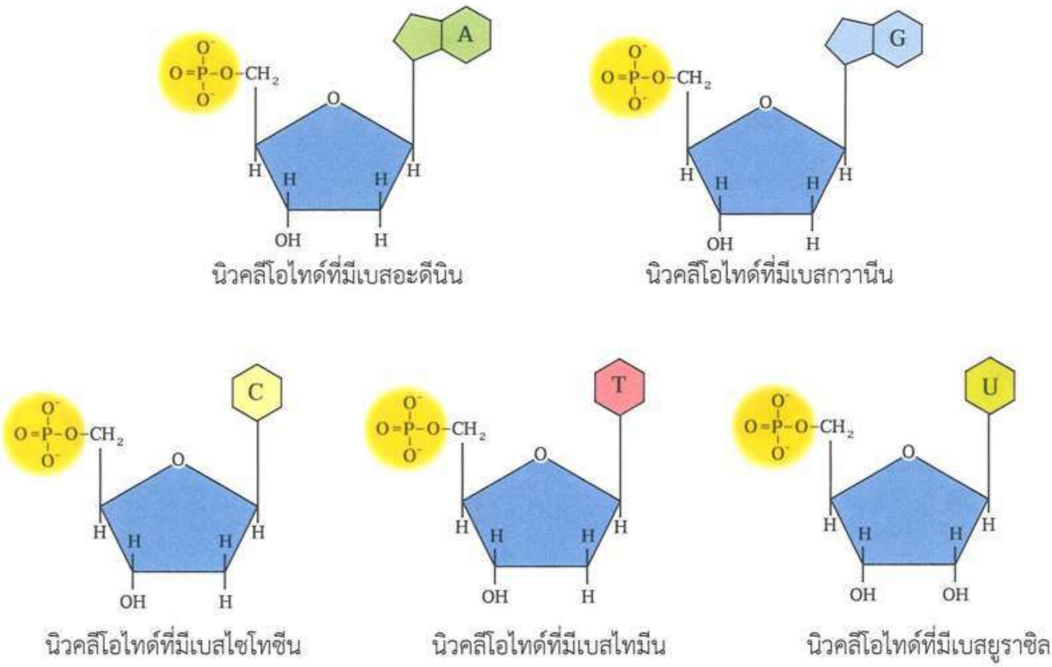
กรดนิวคลิอิก (nucleic acid) เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ทำหน้าที่เป็นข้อมูลทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตที่สามารถถ่ายทอดจากรุ่นหนึ่งไปยังรุ่นต่อไปได้ และทำหน้าที่ควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนที่ไปทำหน้าที่ต่าง ๆ ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต กรดนิวคลิอิกมี 2 ชนิดคือ **DNA** (deoxyribonucleic acid) และ **RNA** (ribonucleic acid)

โมเลกุลของกรดนิวคลิอิก ประกอบด้วยหน่วยย่อยที่เรียกว่า **นิวคลีโอไทด์** (nucleotide) โมเลกุลของนิวคลีโอไทด์ ประกอบด้วยส่วนย่อย 3 ส่วน ได้แก่ น้ำตาลเพนโทสที่มีคาร์บอน 5 อะตอม ไนโตรจีนัสเบส และหมู่ฟอสเฟต โดยน้ำตาลเพนโทสใน RNA คือ **ไรโบส** (ribose) ซึ่งคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 มีหมู่ไฮดรอกซิล ส่วนใน DNA คือ **ดีออกซีไรโบส** (deoxyribose) ซึ่งคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ไม่มีหมู่ไฮดรอกซิล ดังรูป 2.30



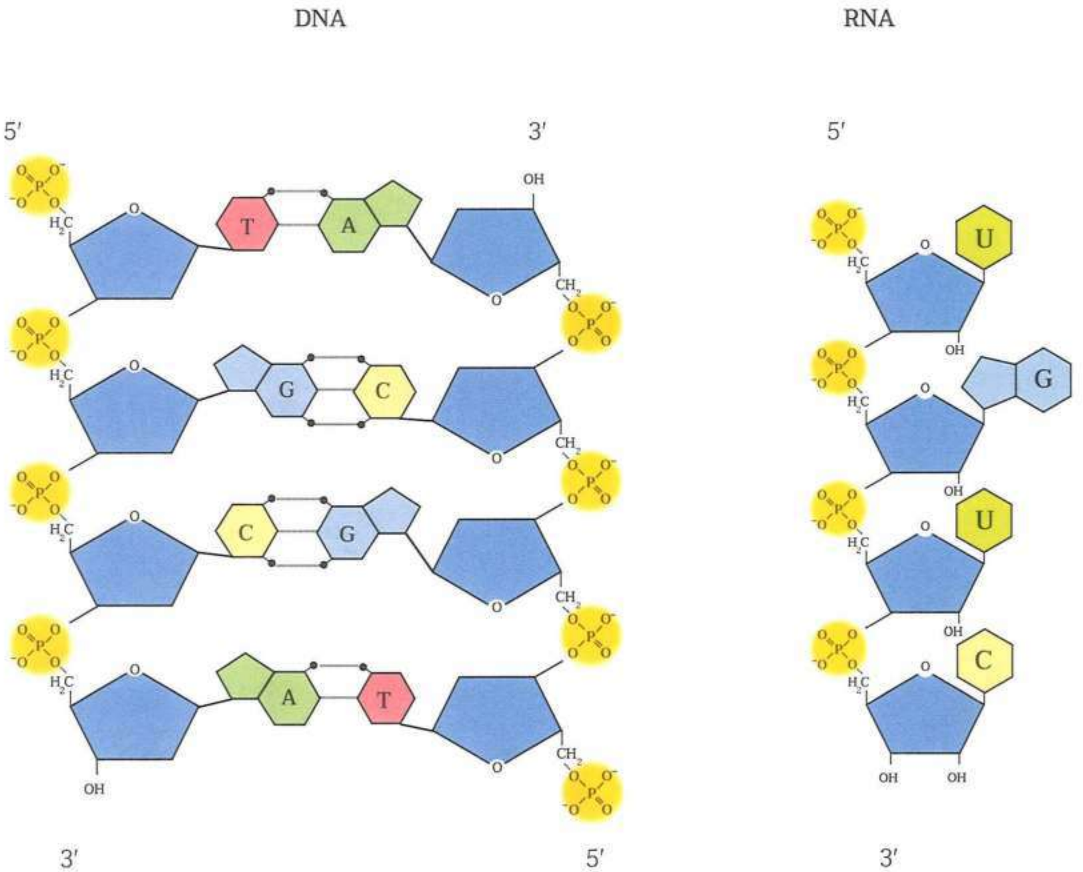
รูป 2.30 นิวคลีโอไทด์ซึ่งเป็นหน่วยย่อยของ
ก. DNA ข. RNA

นิวคลีโอไทด์มีไนโตรจีนัสเบสที่แตกต่างกันได้ 5 ชนิด ดังรูป 2.31 โดยนิวคลีโอไทด์ที่มี**เบสกวานีน** (guanine) **เบสอะดีนีน** (adenine) และ**เบสไซโทซีน** (cytosine) จะพบทั้งใน DNA และ RNA ส่วนนิวคลีโอไทด์ที่มีเบสไทมีน (thymine) จะพบเฉพาะใน DNA ในขณะที่นิวคลีโอไทด์ที่มี**เบสยูราซิล** (uracil) จะพบเฉพาะใน RNA



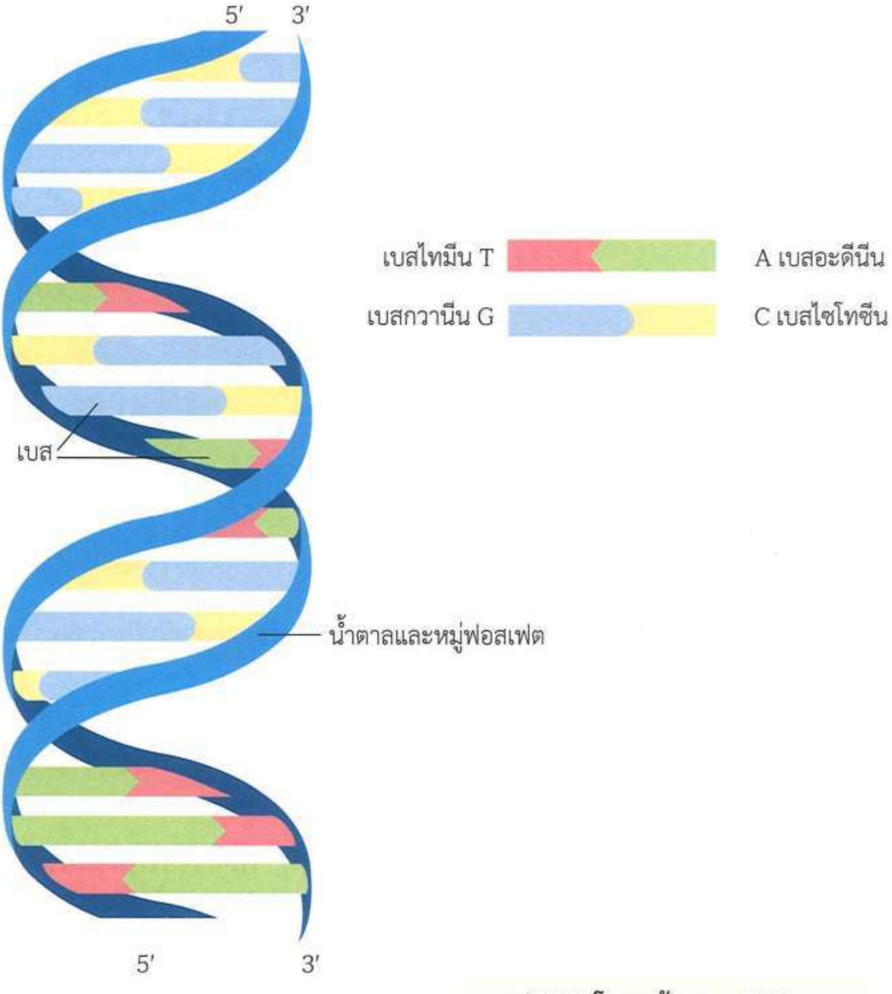
รูป 2.31 ชนิดของนิวคลีโอไทด์

นิวคลีโอไทด์เชื่อมต่อกันด้วย**พันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์** (phosphodiester bond) เป็นสายยาวเรียกว่า **พอลินิวคลีโอไทด์** (polynucleotide) ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ โดยเมื่อเกิดปฏิกิริยาของหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่ง 3′ (3 prime อ่านว่า สามไพรม) ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของน้ำตาลของนิวคลีโอไทด์หนึ่งกับหมู่ฟอสเฟตที่คาร์บอนตำแหน่ง 5′ (5 prime อ่านว่า ห้าไพรม) ของน้ำตาลในนิวคลีโอไทด์ถัดไป ทำให้ได้สายพอลินิวคลีโอไทด์ที่มีปลายแตกต่างกันโดยปลายด้านหนึ่งเรียกว่า ปลาย 5′ และอีกด้านหนึ่งเรียกว่า ปลาย 3′ ดังรูป 2.32



รูป 2.32 พอลินิวคลีโอไทด์

โดยทั่วไปโมเลกุล DNA ประกอบด้วยพอลินิวคลีโอไทด์ 2 สาย เรียงสลับทิศทางคือปลาย 5′ ของสายหนึ่งจะจับคู่กับปลาย 3′ ของอีกสายหนึ่งและมีส่วนของเบสจากแต่ละสายยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยเบสอะดีนีนจับกับเบสไทมีน ส่วนเบสไซโทซีนจับกับเบสกวานีน โมเลกุล DNA มีโครงสร้างเป็นสายคู่ (double helix) บิดเป็นเกลียวคล้ายบันไดเวียนขวา ดังรูป 2.33 ส่วน RNA เป็นพอลินิวคลีโอไทด์เพียงสายเดียว มีเบสอะดีนีน ไซโทซีน กวานีน และยูราซิลเป็นองค์ประกอบ



รูป 2.33 โครงสร้างของ DNA

สารต่าง ๆ ทั้งน้ำ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ลิพิด และกรดนิวคลิอิก ล้วนมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของเซลล์และเนื้อเยื่อ รวมถึงการรักษาดุลยภาพของร่างกายเพื่อให้สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ โดยเกิดการสร้าง สะสม สลาย และการเปลี่ยนแปลงของสารเหล่านี้ในรูปของปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ภายในเซลล์ เมื่อสิ่งมีชีวิตดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การสร้างดอกและผลของพืช การงอกของเมล็ด การล่าเหยื่อของสัตว์ การสื่อสาร การกินอาหาร การออกกำลังกาย หรือการคิด ล้วนเกิดปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ขึ้นมากมายเพื่อทำให้กิจกรรมต่าง ๆ เหล่านี้ดำเนินไปได้ **ปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตเกิดขึ้นได้อย่างไร และมีลักษณะอย่างไร**

2.4 ปฏิกิริยาเคมีในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

ช้างเดินได้จากพลังงานที่ทำให้กล้ามเนื้อเกิดการเคลื่อนไหว หิ่งห้อยสามารถเปล่งแสงได้ในช่วงที่ต้องการสืบพันธุ์ หรือปลายยอดและปลายรากของข้าวโพดต้องการพลังงานเพื่อใช้ในการงอกออกจากเมล็ด **สิ่งมีชีวิตได้พลังงานเหล่านี้มาอย่างไร**





รูป 2.34 พลังงานกับการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ของสิ่งมีชีวิต

พลังงานในตัวอย่างข้างต้นไม่ใช่พลังงานที่สิ่งมีชีวิตสร้างขึ้นใหม่ แต่เป็นการเปลี่ยนรูปพลังงานเคมีที่สะสมอยู่ในสารอาหารผ่านปฏิกิริยาเคมีให้อยู่ในรูปที่สามารถนำมาใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ ได้ รวมถึงใช้ในการสร้างสารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิต

เชื่อมโยงกับฟิสิกส์

พลังงานในสิ่งมีชีวิตไม่มีการสูญหายไปหรือเกิดขึ้นใหม่ แต่สามารถเปลี่ยนจากรูปหนึ่งเป็นอีกรูปหนึ่งได้โดยผลรวมของพลังงานทั้งหมดไม่เปลี่ยนแปลงซึ่งเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน (law of conservation of energy)

ตัวอย่างของปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้ได้พลังงานความร้อน เช่น การเผาไหม้ของถ่านดังที่กล่าวมาข้างต้นซึ่งเป็นปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อมภายนอก ในสิ่งมีชีวิตเองก็มีปฏิกิริยาเคมีที่ให้พลังงานความร้อนได้เช่นเดียวกัน **ปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์สิ่งมีชีวิตนั้นจะแตกต่างจากปฏิกิริยาเคมีในสภาพแวดล้อมภายนอกหรือไม่**

2.4.1 พลังงานกับการเกิดปฏิกิริยาเคมี

การเกิดปฏิกิริยาเคมีเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของสารตั้งต้นที่เข้าทำปฏิกิริยากัน เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของอะตอมของสารตั้งต้น และมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานได้สารผลิตภัณฑ์ ซึ่งมีสมบัติแตกต่างไปจากสารตั้งต้น เช่น ปฏิกิริยาเคมีของการแยกน้ำซึ่งเป็นของเหลวได้แก๊สไฮโดรเจน และแก๊สออกซิเจน หรือปฏิกิริยาเคมีของการรวมตัวของแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจนจนได้เป็นโมเลกุลของน้ำ ดังรูป 2.35

ก. เมื่อให้พลังงานไฟฟ้าแก่น้ำจะสามารถแยกโมเลกุลของน้ำได้เป็นโมเลกุลของแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจน

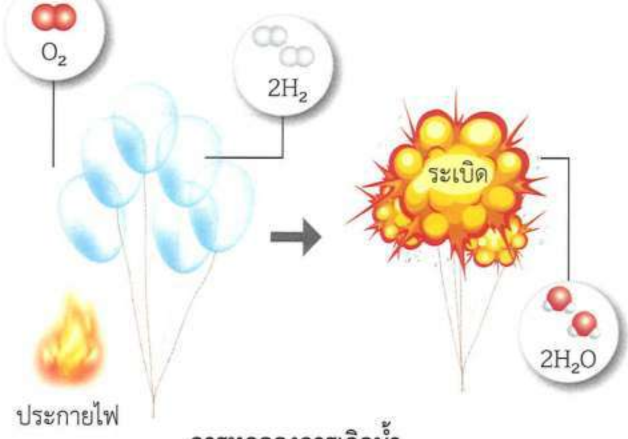




การทดลองแยกน้ำด้วยไฟฟ้า

ข. หากมีประกายไฟฟ้าหรือความร้อนในบรรยากาศที่มีแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจนจะเกิดการระเบิดขึ้นพร้อมกับเกิดการรวมตัวทางเคมีระหว่างอะตอมของไฮโดรเจนและออกซิเจนได้เป็นโมเลกุลของน้ำ



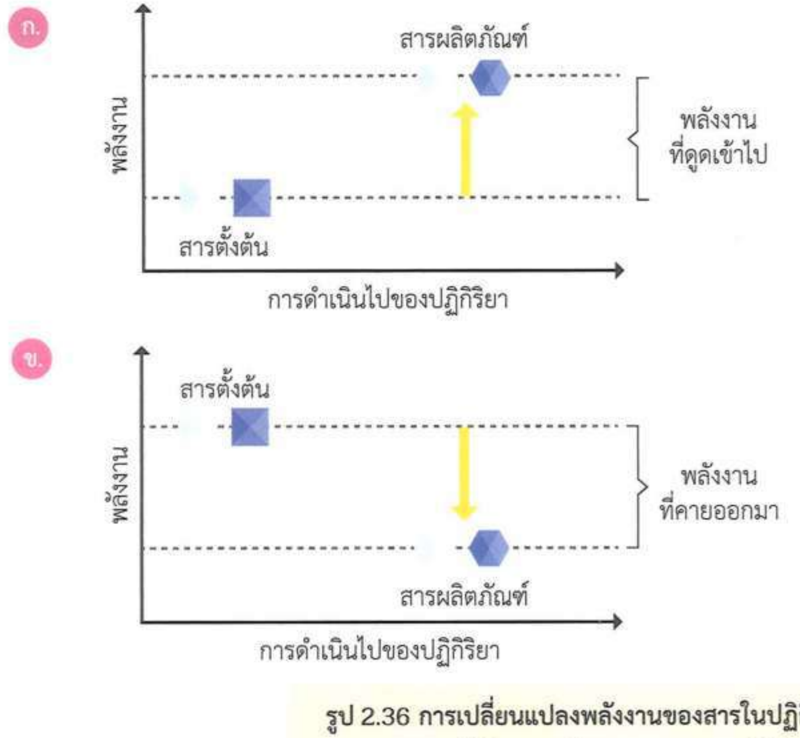


การทดลองการเกิดน้ำ

รูป 2.35 ตัวอย่างของการเกิดปฏิกิริยาเคมี
ก. การแยกน้ำโดยใช้พลังงานไฟฟ้า
ข. การรวมตัวระหว่างแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจน

เมื่อพิจารณาปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในรูป 2.35 จะเห็นว่าปฏิกิริยาการแยกน้ำจะต้องได้รับพลังงานไฟฟ้า ส่วนปฏิกิริยาการรวมของแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจนเกิดเป็นโมเลกุลของน้ำจะให้พลังงานออกมา ซึ่งพลังงานที่เกี่ยวข้องในการเกิดปฏิกิริยาเคมีเหล่านี้สามารถอธิบายได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงพันธะของสารในปฏิกิริยา โดยสารต่าง ๆ มีพลังงานสะสมอยู่ เนื่องจากการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนในพันธะเคมีระหว่างอะตอมและการจัดเรียงตัวของอะตอม ซึ่งพลังงานดังกล่าวอาจมีการเปลี่ยนแปลงขณะเกิดปฏิกิริยาเคมี ในทางชีววิทยาเรียกพลังงานนี้ว่า **พลังงานเคมี** (chemical energy)

ในการเกิดปฏิกิริยาจะมีทั้งการสลายพันธะในสารตั้งต้นแล้วมีการสร้างพันธะใหม่เกิดเป็นสารผลิตภัณฑ์ หากพลังงานรวมของสารผลิตภัณฑ์สูงกว่าพลังงานของสารตั้งต้น ปฏิกิริยาเคมีนั้นต้องการพลังงานจากภายนอกเข้าไปเพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ เรียกปฏิกิริยาแบบนี้ว่า **ปฏิกิริยาดูดพลังงาน** (endergonic reaction) ดังรูป 2.36 ก. หากพลังงานรวมของสารผลิตภัณฑ์ต่ำกว่าพลังงานของสารตั้งต้น เมื่อเกิดปฏิกิริยาเคมีแล้วจะมีพลังงานส่วนเกินถูกปล่อยออกมา เรียกปฏิกิริยาแบบนี้ว่า **ปฏิกิริยาคายพลังงาน** (exergonic reaction) ดังรูป 2.36 ข.

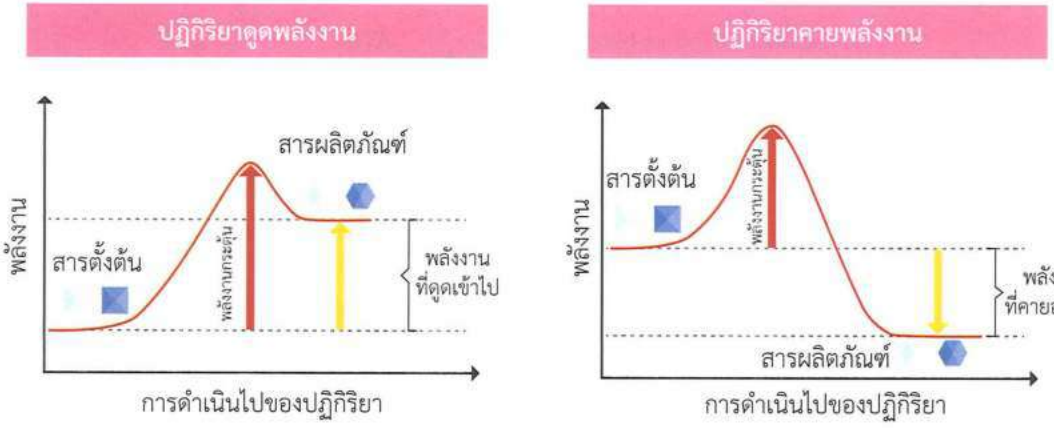


รูป 2.36 การเปลี่ยนแปลงพลังงานของสารในปฏิกิริยา
ก. ปฏิกิริยาดูดพลังงาน ข. ปฏิกิริยาคายพลังงาน

เมื่อพิจารณาแนวโน้มในการเกิดปฏิกิริยาเคมีอาจเห็นว่า ปฏิกิริยาดูดพลังงานไม่สามารถเกิดขึ้นได้เองเพราะสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมีพลังงานสูงกว่าสารตั้งต้น จึงต้องการพลังงานในการเกิดปฏิกิริยา ในขณะที่ปฏิกิริยาคายพลังงานซึ่งได้สารผลิตภัณฑ์ที่มีพลังงานต่ำลงนั้นน่าจะเกิดขึ้นเองได้

อย่างไรก็ตามพบว่าไม่ใช่ทุกปฏิกิริยาคายพลังงานที่จะสามารถเกิดขึ้นเองได้อย่างรวดเร็ว เช่น ปฏิกิริยาการเกิดน้ำที่แก๊สไฮโดรเจนและแก๊สออกซิเจนจะอยู่รวมกันโดยไม่ทำปฏิกิริยากันจนกว่าจะมีประกายไฟฟ้าหรือความร้อนเกิดขึ้น **เพราะเหตุใดปฏิกิริยาคายพลังงานจึงต้องได้รับพลังงานเพื่อให้เริ่มเกิดปฏิกิริยา**

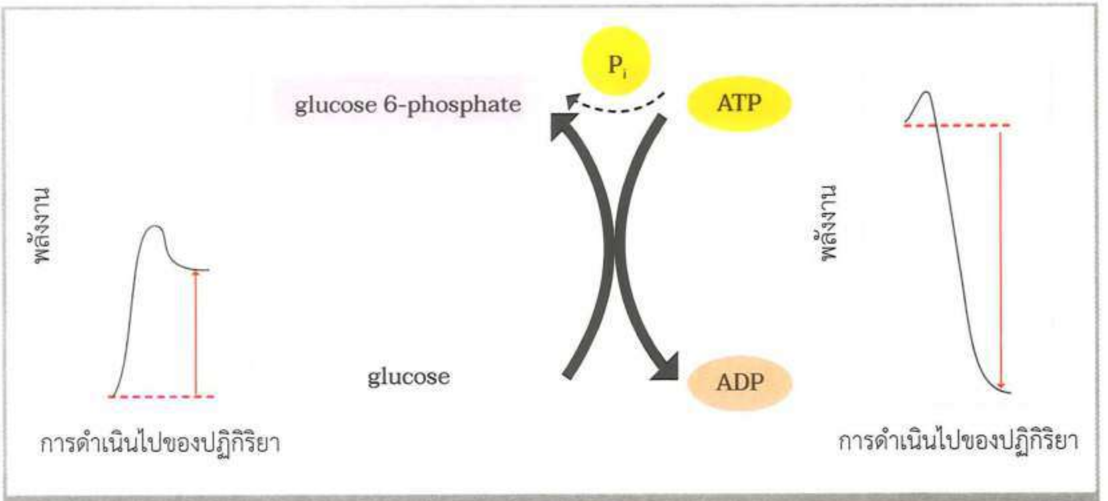
ในการเกิดปฏิกิริยา สารตั้งต้นต้องได้รับพลังงานเพียงพอที่จะสลายพันธะเดิมและทำให้เกิดการเรียงตัวใหม่ของอะตอมที่เหมาะสม พลังงานเริ่มต้นที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาขึ้นได้นี้ เรียกว่า **พลังงานกระตุ้น** หรือพลังงานก่อกัมมันต์ (activation energy) ดังรูป 2.37



รูป 2.37 ปฏิกิริยาดูดพลังงานและปฏิกิริยาคายพลังงาน

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตมีหลักการเช่นเดียวกับปฏิกิริยาเคมีที่กล่าวมาข้างต้น คือ มีทั้งปฏิกิริยาดูดพลังงานและปฏิกิริยาคายพลังงาน และต้องการพลังงานกระตุ้นในการเกิดปฏิกิริยา ตัวอย่างปฏิกิริยาดูดพลังงานในสิ่งมีชีวิต เช่น การสร้าง glucose 6-phospate (ปฏิกิริยาแรกในกระบวนการสลายกลูโคสเพื่อให้พลังงาน ซึ่งจะได้เรียนต่อไป) ตัวอย่างปฏิกิริยาคายพลังงานในสิ่งมีชีวิต เช่น การสลาย ATP

ในสิ่งมีชีวิตมีหลายวิธีที่ทำให้ปฏิกิริยาดูดพลังงานเกิดขึ้นได้ โดยวิธีหนึ่งคือปฏิกิริยาดูดพลังงานจะเกิดขึ้นได้โดยควบคู่ไปกับปฏิกิริยาคายพลังงานซึ่งพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาคายพลังงานนี้จะถูกนำมาใช้ในปฏิกิริยาดูดพลังงานได้ เช่น กลูโคสจะได้รับพลังงานจากการสลาย ATP เพื่อใช้ในการสร้าง glucose 6-phospate ดังรูป 2.38

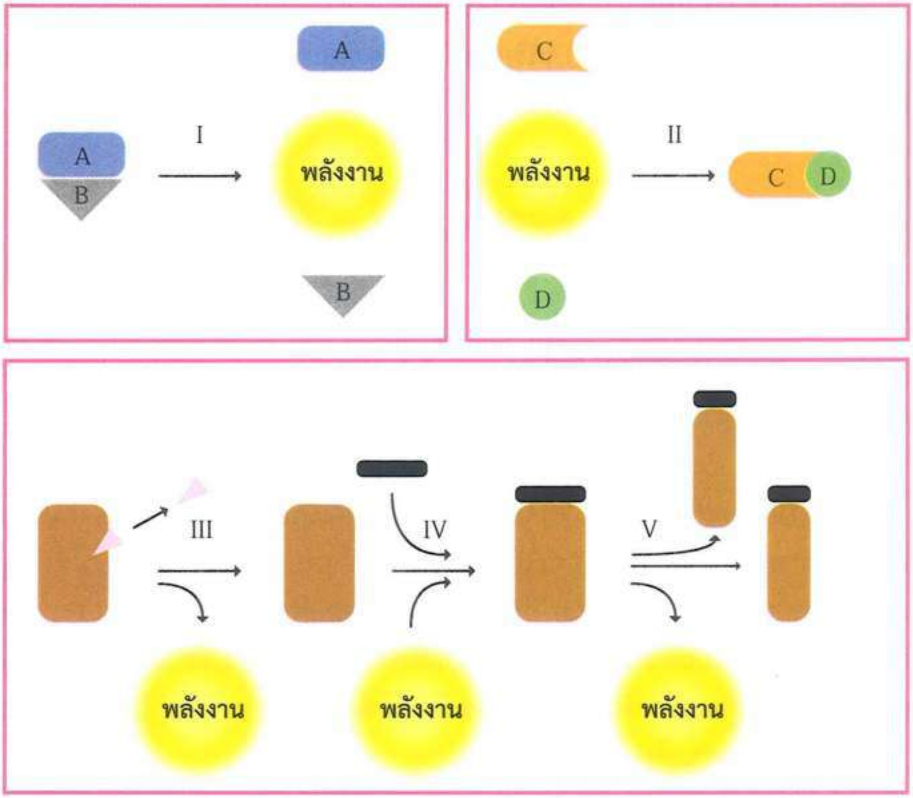


glucose + ATP ➡ glucose 6-phosphate + ADP

รูป 2.38 ตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาควบคู่กันระหว่างปฏิกิริยาการเติมหมู่ฟอสเฟตให้กลูโคส (ปฏิกิริยาดูดพลังงาน) และปฏิกิริยาการสลาย ATP (ปฏิกิริยาคายพลังงาน)

ตรวจสอบความเข้าใจ

? ศึกษาปฏิกิริยาเคมีข้างล่างนี้ แล้วตอบคำถามข้อ 1-5



1. จากปฏิกิริยาที่ I และ II สารใดเป็นสารตั้งต้น สารใดเป็นสารผลิตภัณฑ์
2. จากปฏิกิริยาที่ I พลังงานของ AB จะมากหรือน้อยกว่าพลังงานรวมของ A และ B
3. จากปฏิกิริยาที่ II พลังงานของ CD จะมากหรือน้อยกว่าพลังงานรวมของ C และ D
4. จากปฏิกิริยาเคมีข้างต้น ปฏิกิริยาใดเป็นปฏิกิริยาคายพลังงาน และปฏิกิริยาใดเป็นปฏิกิริยาดูดพลังงาน
5. จากปฏิกิริยาที่ III IV และ V สรุปได้ว่าอย่างไร

? ปฏิกิริยาที่ต้องใช้พลังงานเกิดขึ้นได้อย่างไรภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

2.4.2 เอนไซม์

ในธรรมชาติจะพบเห็นปฏิกิริยาเคมีมากมาย ซึ่งบางปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้รวดเร็ว เช่น การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง บางปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้ช้ามาก เช่น การเกิดสนิม แต่ในกรณีสิ่งมีชีวิตปฏิกิริยาเคมีจำเป็นต้องเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว จำเพาะ และควบคุมได้ โดยทั่วไปหากต้องการให้ปฏิกิริยาเคมีเกิดเร็วขึ้นอาจทำโดยเพิ่มอุณหภูมิหรือให้สารเคมีที่ช่วยเร่งปฏิกิริยา ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสภาวะที่ไม่เหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิต **สิ่งมีชีวิตมีวิธีการที่จะทำให้ปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ นั้นเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว จำเพาะ และควบคุมได้อย่างไร**

กิจกรรม 2.2 เอนไซม์จากสิ่งมีชีวิต

จุดประสงค์

1. บอกได้ว่าเซลล์ของสิ่งมีชีวิตมีเอนไซม์
2. ทดลองเพื่อระบุได้ว่าเอนไซม์เป็นตัวเร่งการเกิดปฏิกิริยาเคมี

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) สามารถสลายตัวเกิดเป็นน้ำและแก๊สออกซิเจนได้เอง ซึ่งโดยปกติแล้วการสลายตัวของ H_2O_2 จะเกิดขึ้นได้ช้ามาก แต่สามารถเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้นได้เมื่อเติมโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) ในขณะที่ภายในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตก็มี H_2O_2 เกิดขึ้นได้เช่นกัน โดยหากมีปริมาณมากและไม่ถูกทำลายโดยทันทีจะทำให้เซลล์ตาย ซึ่งพบว่าในสภาวะปกติเซลล์สามารถอยู่รอดได้ ดังนั้นเซลล์น่าจะมีกลไกที่ควบคุมการเกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อสลาย H_2O_2 ได้อย่างรวดเร็วเช่นเดียวกัน

วัสดุและอุปกรณ์

1. ตัวอย่างที่นำมาศึกษา
    - ชิ้นส่วนของพืชที่หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ เช่น ยอดคะน้า มันฝรั่ง
    - ชิ้นส่วนของสัตว์ที่หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ เช่น ตับ
    - ยีสต์ ความเข้มข้น 1%
2. H_2O_2 ความเข้มข้น 3%
3. สารละลาย KI อิ่มตัว
4. หลอดทดลอง และที่วางหลอดทดลอง
5. หลอดหยดพลาสติก (ที่มีสเกลแสดงปริมาตร)

6. ปากคีบ
7. เขียง มีด และกรรไกร

วิธีการทำกิจกรรม

1. ใช้กรรไกรหรือมีดตัดตัวอย่างที่นำมาศึกษาให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ
2. ใส่ H_2O_2 ความเข้มข้น 3% ลงไปในหลอดทดลอง 3 หลอด หลอดละประมาณ 4 mL จากนั้นทำการทดลอง ดังนี้
    - หลอดที่ 1 ไม่ใส่
    - หลอดที่ 2 ใส่สารละลาย KI อิ่มตัว 2-3 หยด
    - หลอดที่ 3 ใส่ตัวอย่างที่เตรียมไว้ในข้อที่ 1
3. สังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นและบันทึกผล
4. ทำการทดลองโดยใช้ตัวอย่างอื่น ๆ แทน

คำถามท้ายกิจกรรม

? ผลการทดลองของหลอดทดลองทั้ง 3 หลอดมีความแตกต่างกันอย่างไร

? เพราะเหตุใดจึงต้องมีการทดลองหลอดที่ 1 และ 2

? ตัวอย่างที่นำมาศึกษาให้ผลการทดลองเหมือนกันหรือไม่ อย่างไร

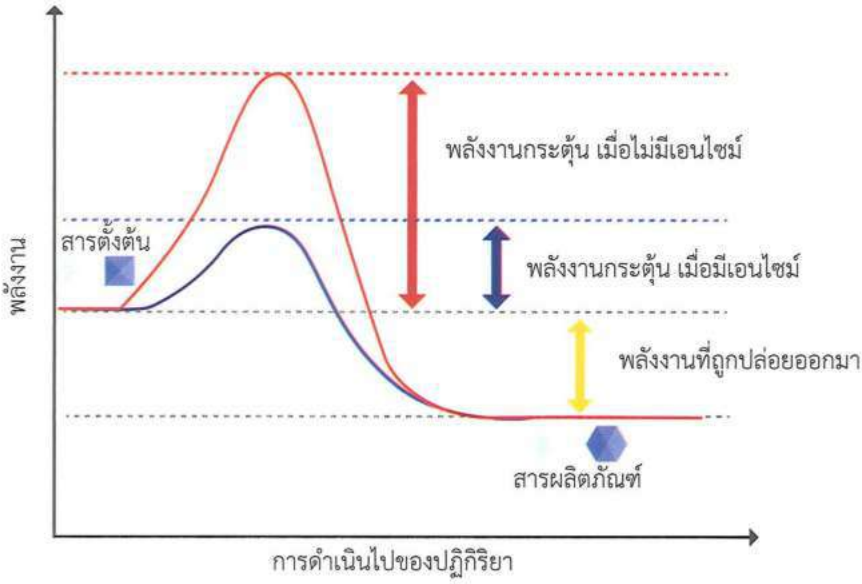
? จะทดสอบแก๊สออกซิเจนที่เกิดขึ้นนี้ได้อย่างไร

? เขียนสมการเคมีแสดงปฏิกิริยาการสลายของ H_2O_2

? เพราะเหตุใดการสลายของ H_2O_2 ในสภาพแวดล้อมภายนอกจึงเกิดขึ้นเองได้ช้ามาก

? เพราะเหตุใดชิ้นส่วนของสิ่งมีชีวิตจึงทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น

จากกิจกรรมข้างต้นแสดงให้เห็นว่า เซลล์ของสิ่งมีชีวิตมีกลไกที่ช่วยให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้รวดเร็ว กลไกดังกล่าวเกิดขึ้นจากการที่เซลล์มีสารที่สามารถลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาลง เรียกสารเหล่านี้ว่า **เอนไซม์** (enzyme) ดังรูป 2.39 เช่น เอนไซม์ในลำไส้เล็กสามารถย่อยโปรตีนจนได้กรดแอมิโน แต่ถ้าไม่มีเอนไซม์ปฏิกิริยานี้แทบจะไม่สามารถเกิดขึ้นเลย นั่นคือ เอนไซม์ทำหน้าที่เป็น**ตัวเร่งปฏิกิริยา** (catalyst)



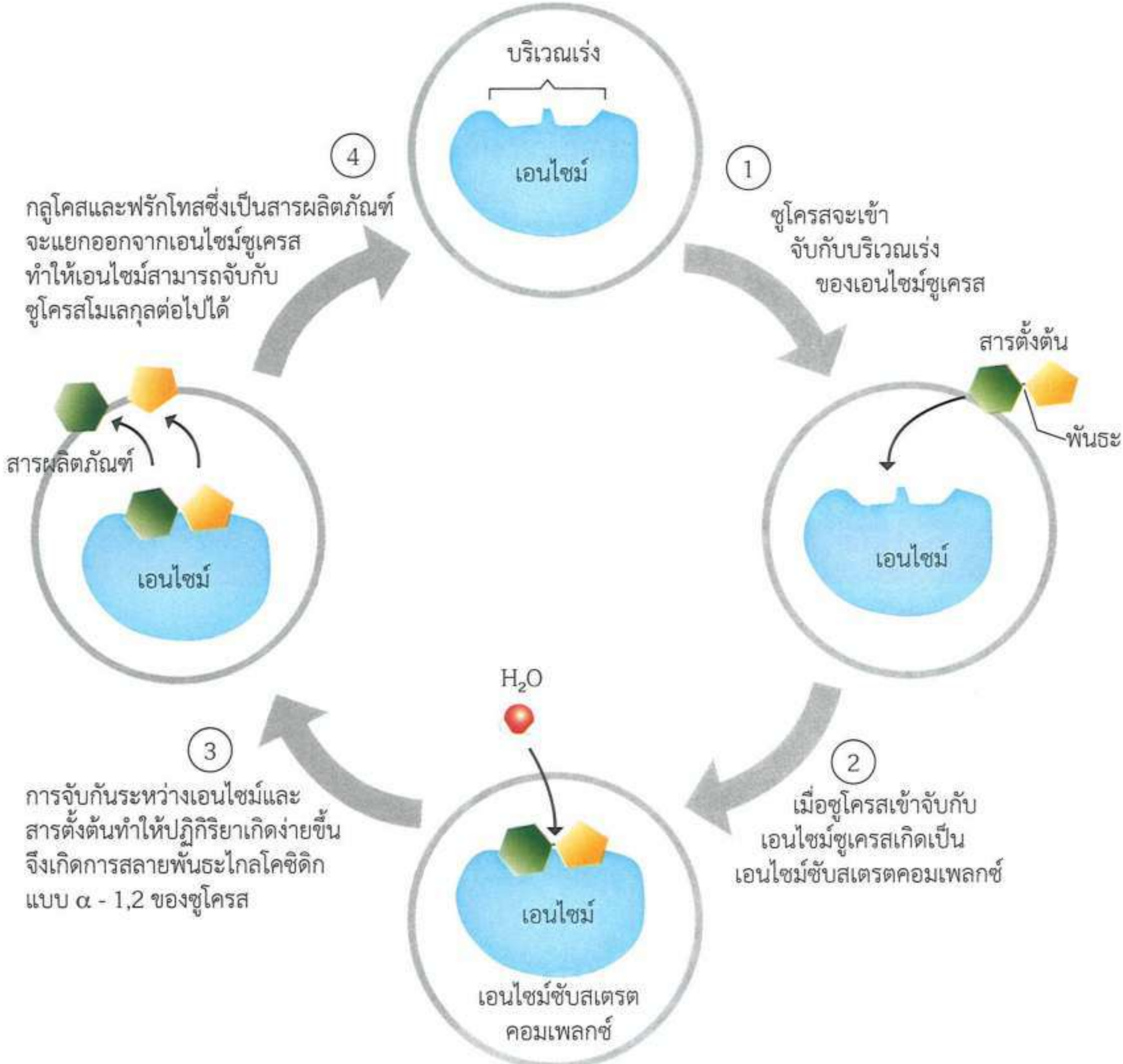
รูป 2.39 พลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาเคมีในขณะที่ไม่มี (สีแดง) และมี (สีน้ำเงิน) เอนไซม์

การทำงานของเอนไซม์

เอนไซม์ส่วนใหญ่เป็นโปรตีน สามารถเร่งปฏิกิริยาเคมีในสิ่งมีชีวิตได้ ทำให้**สารตั้งต้น** (substrate) เกิดปฏิกิริยาได้เร็วขึ้น ได้**สารผลิตภัณฑ์** (product) โดยสารตั้งต้นจะเข้าจับกับเอนไซม์ที่บริเวณจำเพาะของเอนไซม์ เรียกว่า **บริเวณเร่ง** (active site) เนื่องจากสายของโปรตีนที่ประกอบขึ้นเป็นเอนไซม์แต่ละชนิดจะมีการพับม้วนไปมาจนเกิดรูปร่างเฉพาะตัว ทำให้บริเวณเร่งของเอนไซม์แต่ละชนิดมีความจำเพาะกับสารตั้งต้น เช่น การเร่งปฏิกิริยาย่อยสลายซูโครสโดยเอนไซม์ซูเครส ดังรูป 2.40

รู้หรือไม่

เอนไซม์ส่วนใหญ่เป็นสารประเภทโปรตีน แต่มีเอนไซม์บางชนิดที่เป็นโมเลกุลของ RNA ซึ่งเรียกว่า**ไรโบไซม์** (ribozyme)

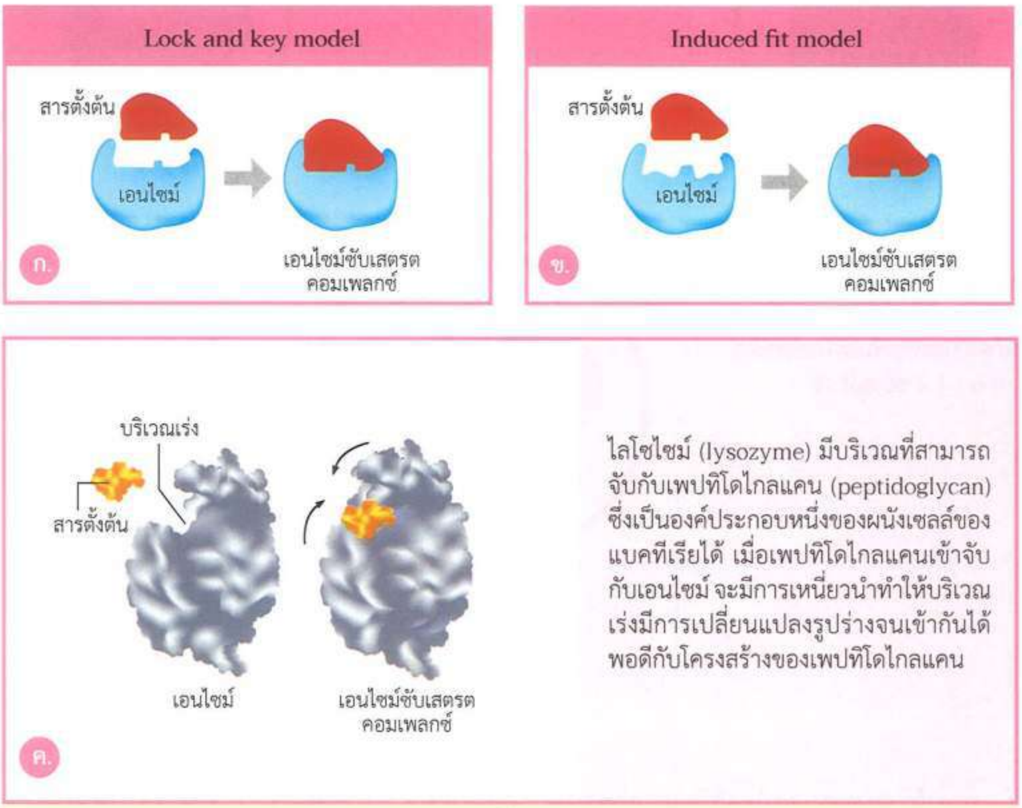


รูป 2.40 การเร่งปฏิกิริยาสลายซูโครสโดยเอนไซม์ซูเครส

การทำงานของเอนไซม์เกิดจากการที่สารตั้งต้นเข้ามาจับที่บริเวณเร่ง ทำให้มีโครงสร้างและสภาวะเหมาะสมที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงพันธะเคมีของสารตั้งต้นได้เป็นสารผลิตภัณฑ์ เป็นการลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาลง

สารตั้งต้นที่มีรูปร่างจำเพาะกับเอนไซม์เท่านั้นจึงสามารถจับกับบริเวณเร่งของเอนไซม์ เกิดเป็น **เอนไซม์ซับสเตรตคอมเพลกซ์** (enzyme-substrate complex) และเปลี่ยนแปลงจนได้สารผลิตภัณฑ์ในที่สุด เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์และเอนไซม์จะแยกออกจากกัน โดยปกติเอนไซม์จะถูกนำกลับไปเร่งปฏิกิริยาใหม่เรื่อย ๆ ทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นได้รวดเร็ว เอนไซม์โมเลกุลหนึ่ง ๆ อาจเร่งปฏิกิริยาโดยจับกับสารตั้งต้นได้เป็นพันครั้ง หรือมากกว่านั้นในเวลาหนึ่งวินาที

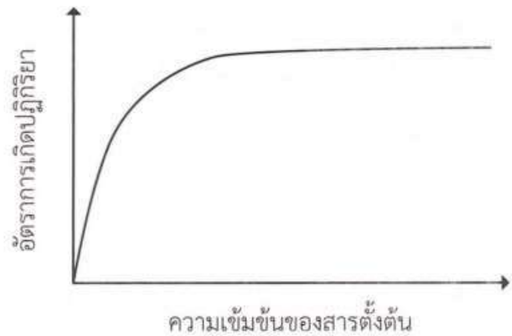
ในอดีตนักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าบริเวณเร่งของเอนไซม์มีรูปร่างเข้ากันได้กับสารตั้งต้นและไม่เปลี่ยนแปลงรูปร่างทั้งก่อนและหลังการจับกับสารตั้งต้น เปรียบเหมือนกับแม่กุญแจที่มีรูปร่างเข้ากันได้กับลูกกุญแจพอดี ซึ่งแนวคิดนี้เรียกว่า lock and key model ดังรูป 2.41 ก. แต่ต่อมาเมื่อศึกษารูปร่างของเอนไซม์ก่อนและหลังการจับกับสารตั้งต้น พบว่าบริเวณเร่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้โดยเมื่อสารตั้งต้นมาจับกับบริเวณเร่งจะทำให้บริเวณเร่งเปลี่ยนรูปร่างให้เข้ากับสารตั้งต้นได้พอดี เรียกแนวคิดนี้ว่า induced fit model ดังรูป 2.41 ข. และตัวอย่างเอนไซม์แสดง induced fit model ดังรูป 2.41 ค.



รูป 2.41 แนวคิดเกี่ยวกับการจับกันระหว่างสารตั้งต้นและเอนไซม์

ก. Lock and key model ข. Induced fit model ค. ตัวอย่างแสดง induced fit model

ในปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์ปริมาณคงที่ อัตราการเร่งปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารตั้งต้น ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้น การจับกับบริเวณเร่งของเอนไซม์ก็จะเกิดได้บ่อยขึ้น ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น การศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้นได้ผลแสดง ดังรูป 2.42



รูป 2.42 ผลของความเข้มข้นของสารตั้งต้นต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่เร่งด้วยเอนไซม์

จากกราฟจะเห็นว่าในปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เพียงพอ ณ เวลาหนึ่ง ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับหนึ่ง อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะคงที่ เนื่องจากสารตั้งต้นจับกับเอนไซม์ทั้งหมดแล้ว ในกรณีนี้ปริมาณเอนไซม์จึงเป็นปัจจัยจำกัดของการเกิดปฏิกิริยา

ในทางกลับกันในปฏิกิริยาที่มีความเข้มข้นของสารตั้งต้นอย่างเพียงพอ ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของเอนไซม์ อัตราการเกิดปฏิกิริยาก็จะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงระดับหนึ่ง จากนั้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะคงที่ ในกรณีนี้สารตั้งต้นจะเป็นปัจจัยจำกัดของการเกิดปฏิกิริยา

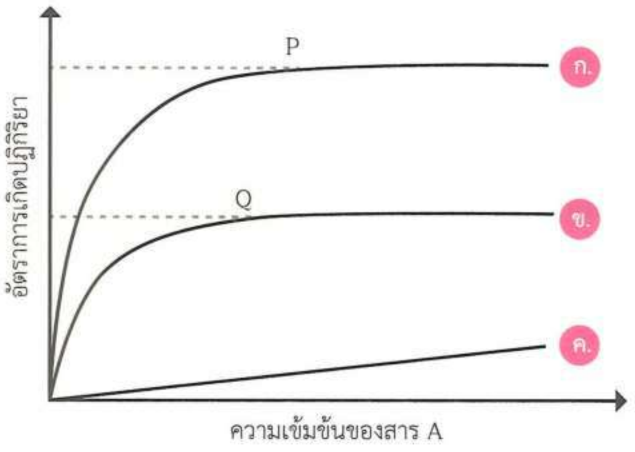
ความรู้เพิ่มเติม

ปัจจัยจำกัด คือ ปัจจัยที่จำเป็นต่อการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งมีอยู่ในปริมาณน้อยในขณะที่เกิดปฏิกิริยาจนมีผลจำกัดอัตราการเกิดปฏิกิริยานั้น

หากปัจจัยจำกัดหนึ่งมีปริมาณมากขึ้นจนเพียงพอจะไม่ใช่ปัจจัยจำกัดอีกต่อไป แต่อาจมีปัจจัยจำเป็นอื่นกลายมาเป็นปัจจัยจำกัดต่อการเกิดปฏิกิริยานั้นแทน

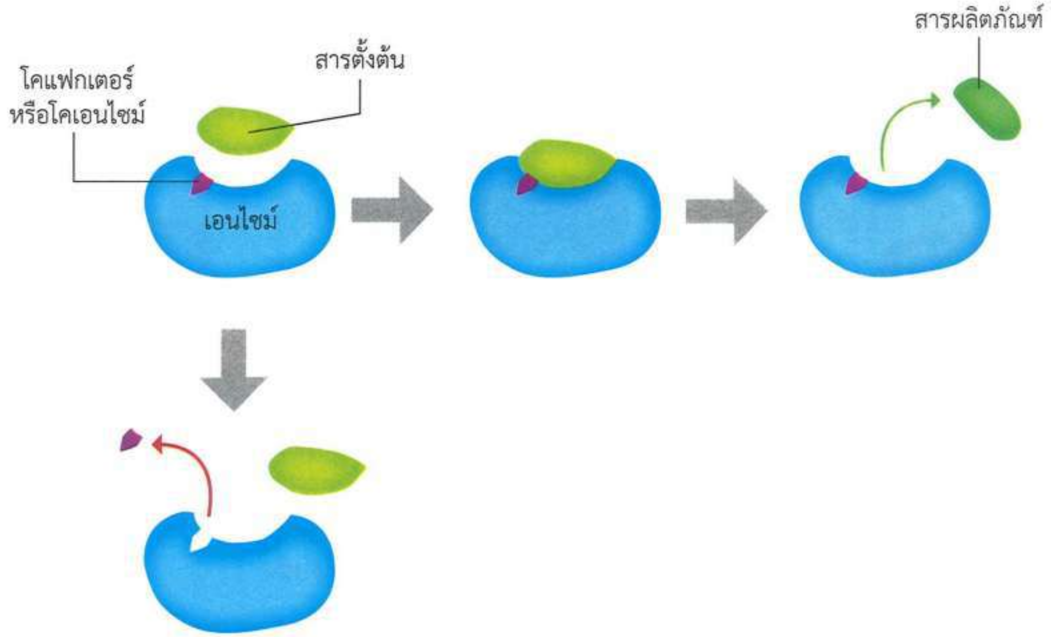
กรณีศึกษา

โดยปกติ สาร A จะสลายตัวได้เองอย่างช้า ๆ แต่สามารถเร่งปฏิกิริยาการสลายสาร A ได้โดยใช้เอนไซม์ ในการทดลองหนึ่งที่ศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาการสลายสาร A ในขณะที่มีและไม่มีเอนไซม์ได้ผลดังกราฟ



- ? เส้นกราฟใดที่แสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยาการสลายสาร A ในขณะที่ไม่มีเอนไซม์
- ? เพราะเหตุใดที่ตำแหน่ง P และ Q อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงเริ่มคงที่
- ? เพราะเหตุใดเส้นกราฟ ก. จึงมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงกว่าเส้นกราฟ ข.

นอกจากนี้เอนไซม์บางชนิดอาจมีองค์ประกอบที่ไม่ใช่โปรตีนรวมอยู่ด้วยซึ่งมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ โดยอาจเป็น**โคแฟกเตอร์** (cofactor) ซึ่งเป็นสารพวกไอออน เช่น แคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ซิงค์ไอออน (Zn^{2+}) หรืออาจเป็น**โคเอนไซม์** (coenzyme) ซึ่งเป็นวิตามิน เช่น วิตามิน B_1 B_2 และ K ก็ได้ สารเหล่านี้จำเป็นต่อการทำงานของเอนไซม์ ถ้าแยกออกจากเอนไซม์จะทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ ดังรูป 2.43



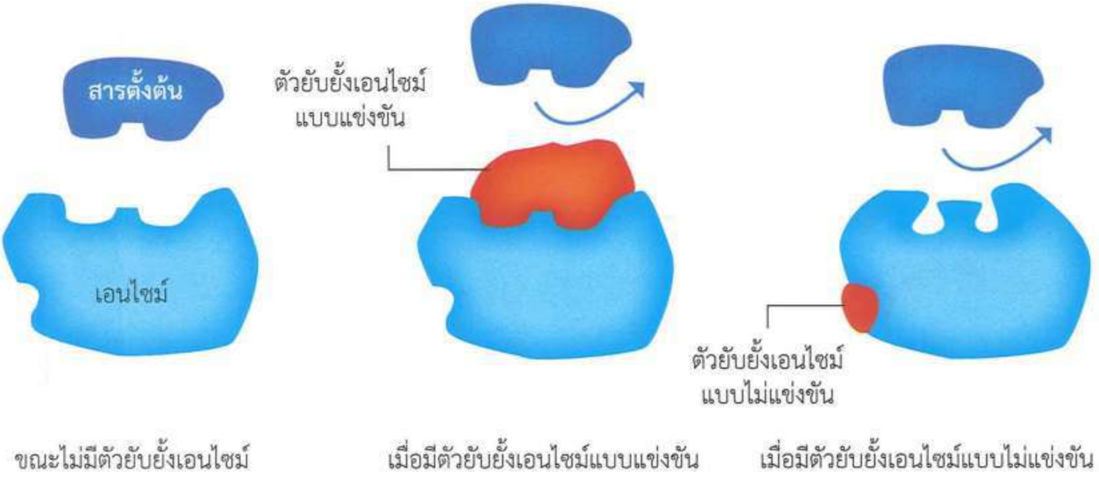
รูป 2.43 ตัวอย่างโคแฟกเตอร์ หรือโคเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเอนไซม์

ตรวจสอบความเข้าใจ

- เอนไซม์ช่วยลดพลังงานกระตุ้นได้อย่างไร
- ในขณะเกิดปฏิกิริยาเคมีสารตั้งต้นจะเปลี่ยนไปเป็นสารผลิตภัณฑ์ หลังเกิดปฏิกิริยาเอนไซม์จะมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่
- หากอัตราการเกิดปฏิกิริยาถึงระดับคงที่ เนื่องจากเอนไซม์ถึงจุดอิ่มตัวแล้วนั้น ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตจะมีวิธีใดที่จะสามารถทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นได้

การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์

การทำงานของเอนไซม์บางชนิดอาจถูกยับยั้งได้ด้วยสารเคมีบางชนิด เรียกว่า **ตัวยับยั้งเอนไซม์** (enzyme inhibitor) ซึ่งอาจเกิดจากตัวยับยั้งแย่งจับกับบริเวณเร่งทำให้เอนไซม์ไม่สามารถจับกับสารตั้งต้น จึงไม่สามารถเร่งปฏิกิริยาได้ เรียกตัวยับยั้งแบบนี้ว่า **ตัวยับยั้งแบบแข่งขัน** (competitive inhibitor) ตัวยับยั้งเอนไซม์เหล่านี้มักมีรูปร่างบางส่วนคล้ายกับสารตั้งต้น จึงทำให้จับกับบริเวณเร่งของเอนไซม์ได้ นอกจากนี้ตัวยับยั้งบางชนิดอาจจับกับเอนไซม์บริเวณอื่นที่ไม่ใช่บริเวณเร่ง ทำให้เอนไซม์มีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปจึงไม่สามารถจับกับสารตั้งต้นได้ เรียกตัวยับยั้งแบบนี้ว่า **ตัวยับยั้งแบบไม่แข่งขัน** (noncompetitive inhibitor) ดังรูป 2.44

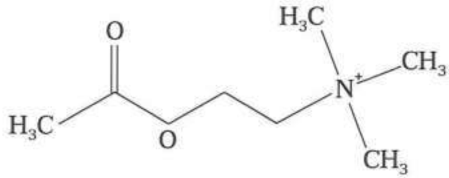
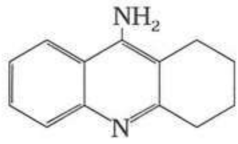


รูป 2.44 การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์

รู้หรือไม่

ตัวอย่างของตัวยับยั้งเอนไซม์ที่เป็นที่รู้จักกันดี เช่น สารจำพวกเพนิซิลลิน ซึ่งเป็นยาปฏิชีวนะที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เนื่องจากสามารถแย่งจับกับบริเวณเร่งของเอนไซม์ในปฏิกิริยาการสร้างเพปทิโดไกลแคนที่ผนังเซลล์ ทำให้แบคทีเรียไม่สามารถสร้างผนังเซลล์ได้ตามปกติ

? สารตั้งต้นและตัวยับยั้งของเอนไซม์ dihydropteroate synthase และ acetylcholinesterase มีโครงสร้างดังแสดงในตาราง ตัวยับยั้งเอนไซม์แต่ละชนิด น่าจะเป็นตัวยับยั้งเอนไซม์แบบใด

เอนไซม์	สารตั้งต้น	ตัวยับยั้งเอนไซม์
dihydropteroate synthase	 ρ-aminobenzoic acid	 sulfanilamide
acetylcholinesterase	 acetylecholine	 tacrine

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการทำงานและความจำเพาะของเอนไซม์ต่อสารตั้งต้นขึ้นอยู่กับรูปร่างและโครงสร้างภายในบริเวณเร่งของเอนไซม์ ดังนั้นปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้างภายในบริเวณเร่ง จะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์ ทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนไป ซึ่งนักเรียนจะได้ศึกษาจากการทำกิจกรรมต่อไปนี้

กิจกรรม 2.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์

จุดประสงค์

1. ระบุปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์
2. อธิบายผลของปัจจัยนั้น ๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์

การสลายตัวของ H_2O_2 ซึ่งหากเกิดขึ้นเองจะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ช้ามาก แต่ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตสามารถเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของ H_2O_2 ได้อย่างรวดเร็วโดยอาศัยการทำงานของคะตะเลส (catalase) ทำให้เซลล์ไม่เป็นอันตรายและดำรงชีวิตอยู่ได้

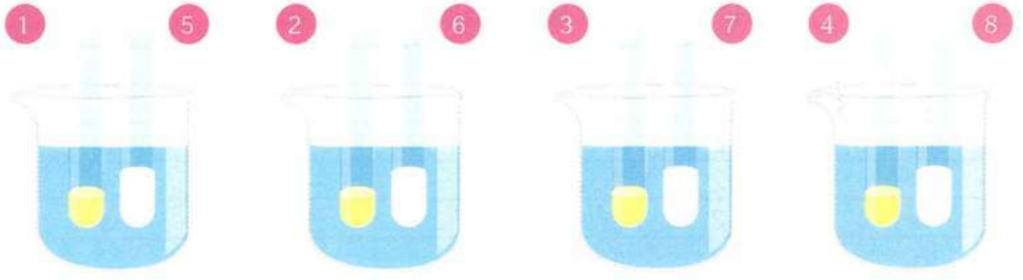
วัสดุและอุปกรณ์

1. ยีสต์ ความเข้มข้น 1%
2. น้ำกลั่น
3. H_2O_2 ความเข้มข้น 3 %
4. 1 M HCl ปริมาตร 100 mL
5. 1 M NaOH ปริมาตร 100 mL
6. เครื่องชั่งแบบดิจิตอล
7. เทอร์มอมิเตอร์
8. กระดาษวัดค่าพีเอช (pH indicator paper)
9. ที่วางหลอดทดลอง และหลอดทดลอง (ควรมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดเดียวกัน)
10. บีกเกอร์ขนาด 250 mL
11. ปากคีบ
12. พาสเจอร์ปิเปตขนาด 5 mL และ 1 mL
13. หลอดหยดพลาสติก (ที่มีสเกลแสดงปริมาตร)
14. แท่งแก้วคนสาร

วิธีการทำกิจกรรม

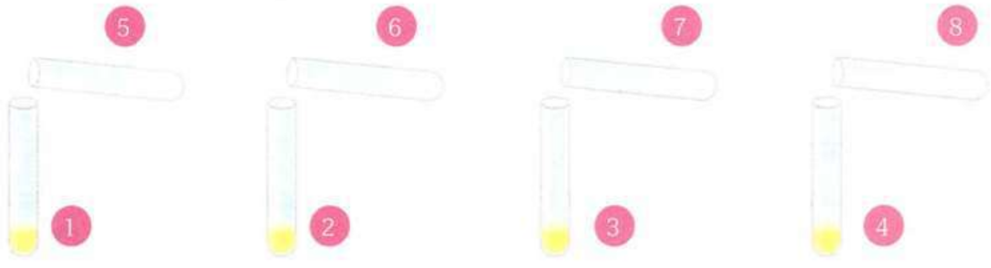
ตอนที่ 1 ผลของอุณหภูมิต่อการทำงานของเอนไซม์

1. เตรียมหลอดทดลอง 8 หลอด โดยหลอดที่ 1-4 ใส่ยีสต์ความเข้มข้น 1% ปริมาตร 1 mL และหลอดที่ 5-8 ใส่ H_2O_2 ความเข้มข้น 3% ปริมาตร 2 mL จากนั้นทำให้แต่ละหลอดมีอุณหภูมิต่าง ๆ ดังนี้



หลอดที่ 1 และ 5 ต่ำกว่า 10 °C
หลอดที่ 2 และ 6 อุณหภูมิห้อง
หลอดที่ 3 และ 7 45-60 °C
หลอดที่ 4 และ 8 75-100 °C

2. จากนั้นนำหลอดทดลองแต่ละหลอดที่มีอุณหภูมิเดียวกันที่เตรียมไว้ในข้อที่ 2 ผสมกัน โดยให้เท H_2O_2 ความเข้มข้น 3% ใส่ในหลอดทดลองที่มียีสต์บรรจุอยู่ (ควรผสมแต่ละหลอดพร้อม ๆ กัน)



ต่ำกว่า 10 °C　อุณหภูมิห้อง　45-60 °C　75-100 °C

3. สังเกตผลการทดลองที่เกิดขึ้นและบันทึกผล โดยสามารถบันทึกปริมาณฟองแก๊สที่เกิดขึ้นโดยใช้ -/+/++/+++

   หมายเหตุ เครื่องหมาย - คือ ไม่เกิดฟองแก๊ส
   เครื่องหมาย + คือ เกิดฟองแก๊ส (ยิ่งจำนวน + มาก แสดงปริมาณฟองแก๊สมาก)

ตอนที่ 2 ผลของ pH ต่อการทำงานของเอนไซม์

1. เตรียมสารละลายที่มีค่า pH ต่าง ๆ กัน ดังแสดงในตาราง โดยในกรณีที่มี pH indicator paper อาจเตรียมสารละลายที่มีค่า pH ต่าง ๆ กัน 2 ชุด เพื่อใช้ชุดหนึ่งสำหรับตรวจสอบค่า pH ของสารละลายด้วย pH indicator paper

หลอดที่	3% H_2O_2 (mL)	1 M HCl (mL)	1 M NaOH (mL)	น้ำ (mL)
1	2	4	-	-
2	2	2	-	2
3	2	1	-	3
4	2	-	-	4
5	2	-	1	3
6	2	-	2	2
7	2	-	4	-

2. ใส่ยีสต์ความเข้มข้น 1% ปริมาตร 1 mL ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอดที่เตรียมไว้ในข้อที่ 1 (ควรใส่ยีสต์ลงในแต่ละหลอดพร้อม ๆ กัน)
3. สังเกตผลการทดลองที่เกิดขึ้นและบันทึกผลโดยสามารถบันทึกปริมาณฟองแก๊สที่เกิดขึ้นโดยใช้ -/+/++/+++

   หมายเหตุ เครื่องหมาย - คือ ไม่เกิดฟองแก๊ส
   เครื่องหมาย + คือ เกิดฟองแก๊ส (ยิ่งจำนวน + มาก แสดงปริมาณฟองแก๊สมาก)

คำถามท้ายกิจกรรม

? ในการทดลองตอนที่ 1 และ ตอนที่ 2 ตัวแปรต้น ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุมคืออะไร

? ถ้าต้องการให้ผลการทดลองจากการทดลองตอนที่ 1 และ 2 นี้น่าเชื่อถือยิ่งขึ้น จะมีวิธีการอย่างไร

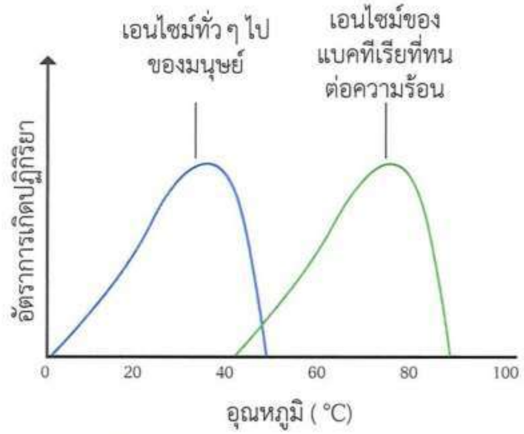
? จากการทดลองคะตะเลสจะทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิและ pH เท่าใด

? จากการทดลองอุณหภูมิและ pH มีผลต่อการทำงานของคะตะเลสของยีสต์อย่างไร

จากกิจกรรม 2.3 จะเห็นว่าอุณหภูมิ และ pH มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์ โดยเอนไซม์จะทำงานได้ที่อุณหภูมิและ pH ช่วงหนึ่ง หากอุณหภูมิหรือ pH เปลี่ยนแปลงไปจากช่วงดังกล่าว ประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์จะลดลง

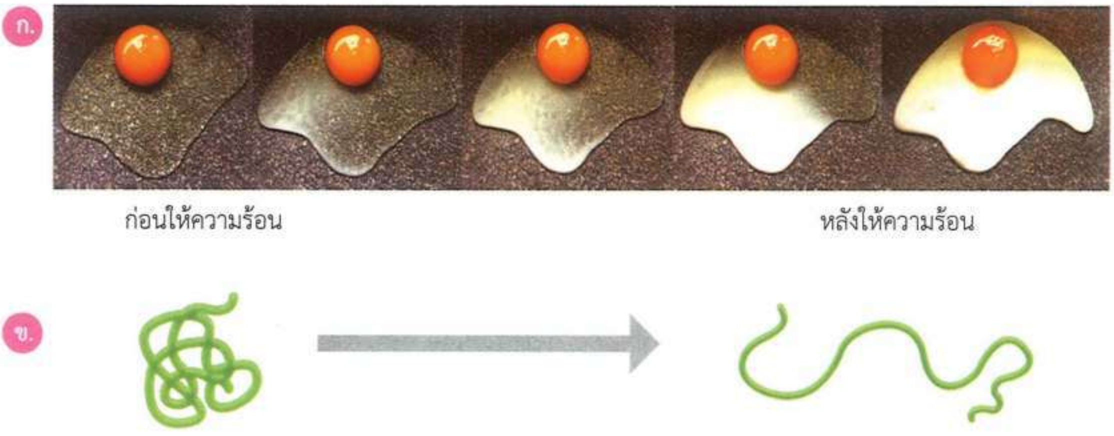
เอนไซม์กับอุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์ เอนไซม์แต่ละชนิดจะทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมแตกต่างกัน ดังรูป 2.45 ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมเอนไซม์จะทำงานช้าลง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ เอนไซม์จะทำงานได้เร็วขึ้น แต่หากเพิ่มจนสูงเกินกว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมมากจะทำให้โปรตีนเสียสภาพ ดังรูป 2.46 เนื่องจากโครงสร้างสามมิติของเอนไซม์เปลี่ยนแปลงไปจนไม่สามารถทำงานได้ ส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง



จากรูป 2.45 ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ในมนุษย์จะอยู่ในช่วง 25-40 °C ส่วนเอนไซม์ของแบคทีเรียบางชนิดที่เจริญได้ดีในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงมาก อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์อาจจะสูงถึง 65-80 °C

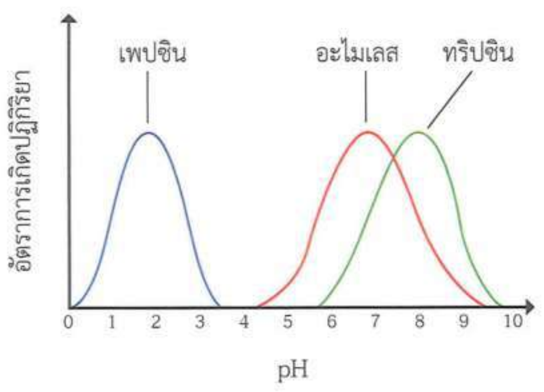
รูป 2.45 ผลของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์



รูป 2.46 ตัวอย่างการเสียสภาพของโปรตีนในไข่ขาวเมื่อได้รับความร้อน
ก. ลักษณะของโปรตีนในไข่ขาวก่อนและหลังได้รับความร้อน
ข. โครงสร้างของโปรตีนก่อนและหลังได้รับความร้อน

เอนไซม์กับค่า pH

เอนไซม์แต่ละชนิดจะทำงานได้ดีในช่วง pH ที่เหมาะสม ดังรูป 2.47 ในสภาพที่ pH ไม่เหมาะสม จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ลดลงหรือทำงานไม่ได้ เนื่องจาก pH มีผลต่อการมีประจุของหมู่ R ของกรดแอมิโน ดังนั้น pH ที่เปลี่ยนไปจะทำให้ประจุของหมู่ R หรือแรงยึดเหนี่ยวภายในโครงสร้างสามมิติของเอนไซม์เปลี่ยนไปด้วย และทำให้รูปร่างและโครงสร้างภายในบริเวณเร่งเปลี่ยนแปลงไป จึงส่งผลกระทบต่อการทำงานของเอนไซม์



รูป 2.47 ผลของ pH ต่อประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์

จากรูป 2.47 เอนไซม์ในร่างกายส่วนมากจะทำงานได้ดีที่ pH ประมาณ 7 ยกเว้นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยอาหารบางชนิด จะทำงานได้ดีในสภาวะที่เป็นกรดสูง เช่น เอนไซม์เพปซินพบในกระเพาะอาหารซึ่งมีสภาวะเป็นกรดสูง สามารถเร่งปฏิกิริยาการย่อยโปรตีนได้ดีที่ pH ประมาณ 1.5-2

ความรู้เพิ่มเติม

การเรียกชื่อเอนไซม์

เอนไซม์จำนวนมากเรียกชื่อตามสารตั้งต้น โดยลงท้ายเสียงเป็น เ-ส เช่น ซูเครส อะไมเลส ลิเพส ยูรีเอส แต่เอนไซม์บางชนิดมีชื่อเฉพาะเนื่องจากเป็นชื่อที่ตั้งในขณะที่พบเอนไซม์เพียงไม่กี่ชนิด เช่น เพปซิน ทริปซิน ซึ่งเป็นเอนไซม์ช่วยย่อยโปรตีน ภายหลังเมื่อพบเอนไซม์จำนวนมากจึงกำหนดหลักเกณฑ์ในการเรียกชื่อเอนไซม์อย่างเป็นระบบมากขึ้น ตามระบบของ Enzyme Commission number

กิจกรรมเสนอแนะ : ตัวอย่างการนำเอนไซม์มาใช้ประโยชน์

จุดประสงค์

1. สืบค้นข้อมูลและอธิบายเกี่ยวกับการนำเอนไซม์ไปใช้ในอุตสาหกรรมผงซักฟอก
2. สืบค้นข้อมูลและยกตัวอย่างการนำเอนไซม์ไปใช้ในด้านอื่น ๆ

วิธีการทำกิจกรรม

1. ปัจจุบันได้มีการพัฒนาผงซักฟอกที่มีเอนไซม์เป็นส่วนประกอบ ซึ่งมีข้อแนะนำในการใช้ที่ต่างจากผงซักฟอกทั่วไป ดังภาพ



✓ มีเอนไซม์โปรตีเอสและลิเพส

✓ ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่า 40 °C

✓ มีประสิทธิภาพมากกว่าผงซักฟอกทั่วไป

× หลีกเลี่ยงการใช้น้ำร้อนในการซักผ้า

× ห้ามใช้ซักเสื้อผ้าที่ทำมาจากผ้าไหม

ให้สืบค้นข้อมูลเพิ่มเติมและอภิปรายเกี่ยวกับผงซักฟอกที่มีเอนไซม์ในประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

? เอนไซม์ในผงซักฟอกช่วยกำจัดคราบสกปรกต่าง ๆ ได้อย่างไร

? เพราะเหตุใดในการใช้ผงซักฟอกชนิดนี้จึงมีคำแนะนำว่าควรหลีกเลี่ยงการใช้น้ำร้อนและควรใช้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 40 °C ในการซักผ้า

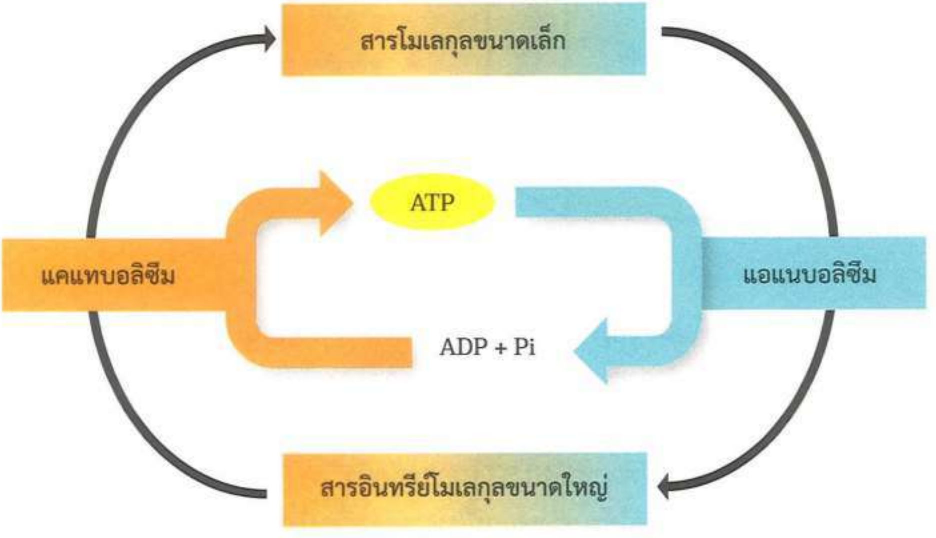
? เพราะเหตุใดจึงไม่ควรใช้ผงซักฟอกนี้ในการซักเสื้อผ้าที่ทำมาจากผ้าไหม

2. สืบค้นข้อมูลและยกตัวอย่างการนำเอนไซม์ไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ เช่น การผลิตขนมปัง การผลิตเยื่อกระดาษ การฟอกสีผ้ายีนส์

2.4.3 เมแทบอลิซึม

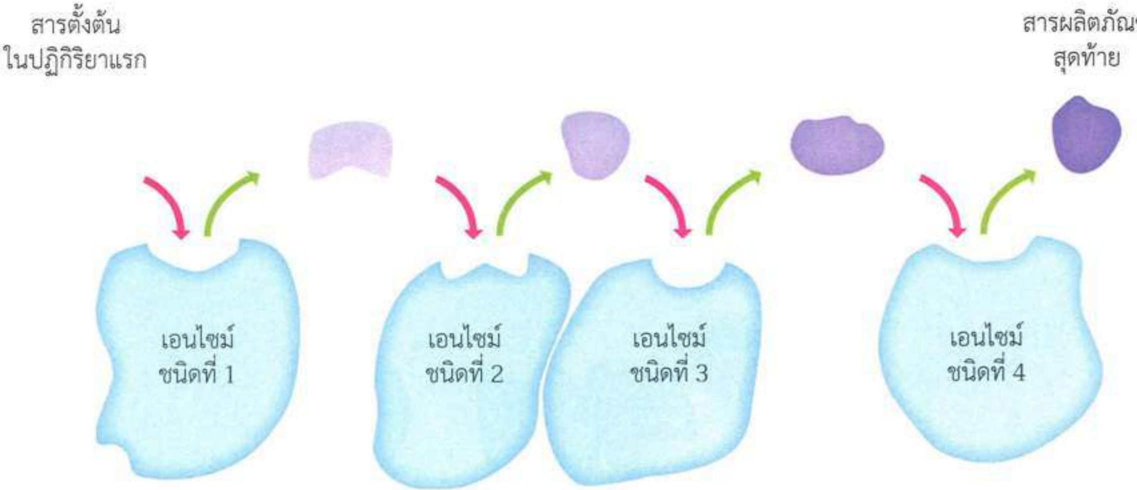
สิ่งมีชีวิตแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่สร้างอาหารเองได้ เช่น พืชซึ่งจะได้รับพลังงานมาจากแสง เพื่อนำมาใช้ในการสร้างน้ำตาล และกลุ่มที่สร้างอาหารเองไม่ได้ เช่น สัตว์ซึ่งจะได้รับพลังงานจากอาหารที่กินเข้าไป น้ำตาลที่พืชสร้างและอาหารที่สัตว์กินเข้าไปจะถูกสลายผ่านการหายใจระดับเซลล์ และได้พลังงานมาใช้ในกิจกรรมหรือในการสังเคราะห์สารต่าง ๆ ปฏิกิริยาการสังเคราะห์สารและการสลายสารในสิ่งมีชีวิตล้วนต้องใช้เอนไซม์ เรียกปฏิกิริยาเคมีทั้งหมดที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตว่า **เมแทบอลิซึม** (metabolism)

เมแทบอลิซึมแบ่งได้ 2 แบบ คือ เมแทบอลิซึมที่สลายสารโมเลกุลใหญ่ให้เป็นสารผลิตภัณฑ์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กลง และปลดปล่อยพลังงานออกมา เรียกว่า **แคแทบอลิซึม** (catabolism) เช่น การหายใจระดับเซลล์ และเมแทบอลิซึมที่สังเคราะห์สารโมเลกุลใหญ่จากสารตั้งต้นโมเลกุลขนาดเล็กซึ่งต้องการพลังงาน เรียกว่า **แอแนบอลิซึม** (anabolism) เช่น การสังเคราะห์โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ลิพิด กรดนิวคลิอิก โดยสารผลิตภัณฑ์จากแคแทบอลิซึม เช่น ATP และสารโมเลกุลขนาดเล็กต่าง ๆ จะถูกนำไปใช้ในแอแนบอลิซึม เพื่อสังเคราะห์สารโมเลกุลขนาดใหญ่ดังรูป 2.48



รูป 2.48 เมแทบอลิซึมในสิ่งมีชีวิต

ปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ในสิ่งมีชีวิตมักจะเกิดต่อเนื่องกันอย่างมีลำดับ รวมเรียกว่า **วิถีเมแทบอลิซึม** (metabolic pathway) โดยสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาหนึ่งจะเป็นสารตั้งต้นของอีกปฏิกิริยาหนึ่งต่อเนื่องกันไปจนได้สารผลิตภัณฑ์สุดท้าย ซึ่งแต่ละปฏิกิริยาจะมีเอนไซม์ที่จำเพาะช่วยในการเร่งปฏิกิริยา ดังรูป 2.49



รูป 2.49 วิถีเมแทบอลิซึม

โดยทั่วไปเอนไซม์ชนิดหนึ่ง ๆ จะเร่งปฏิกิริยาเคมีได้เฉพาะอย่างเท่านั้น ดังนั้นในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตจึงมีเอนไซม์หลายชนิดเพื่อเร่งปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ ภายในเซลล์ ตัวอย่างวิถีเมแทบอลิซึม เช่น ปฏิกิริยาในกระบวนการไกลโคลิซิสซึ่งเป็นการสลายกลูโคสที่มีปฏิกิริยาเคมีหลายขั้นตอนและใช้เอนไซม์หลายชนิด ซึ่งจะได้ศึกษาปฏิกิริยาดังกล่าวนี้ต่อไปในเรื่องการหายใจระดับเซลล์

ในวิถีเมแทบอลิซึมหนึ่ง ๆ เมื่อสารผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีปริมาณมากเกินความจำเป็น กลไกหนึ่งที่ใช้ในการควบคุมวิถีเมแทบอลิซึม คือ สารผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะเป็นตัวยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โดยจะเข้าจับกับเอนไซม์ตัวแรก ๆ ในวิถีเมแทบอลิซึม ทำให้เอนไซม์นั้นไม่สามารถจับกับสารตั้งต้นได้ ส่งผลให้ปฏิกิริยาต่อไปในวิถีเมแทบอลิซึมหยุดชะงักลง ดังรูป 2.50



รูป 2.50 การยับยั้งการทำงานของเอนไซม์โดยสารผลิตภัณฑ์

? รูปแบบการยับยั้งดังแสดงในรูป 2.50 ส่งผลดีต่อเซลล์อย่างไร

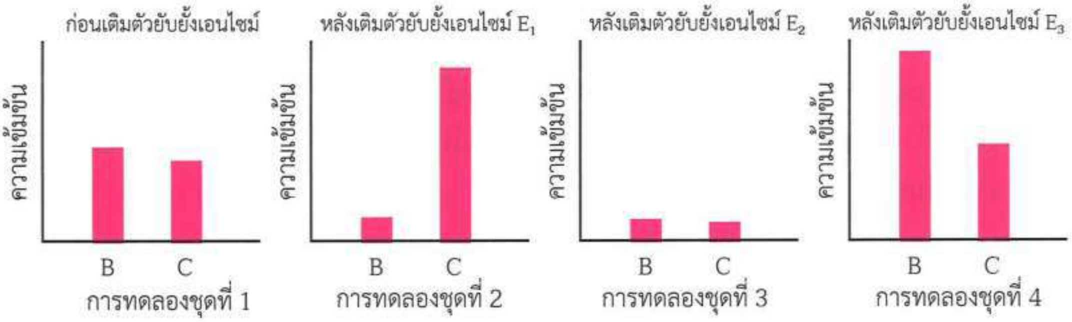
ในการศึกษาลำดับของปฏิกิริยาเคมีในวิถีเมแทบอลิซึมทำได้โดยการเติมตัวยับยั้งเอนไซม์ให้ไปขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ เนื่องจากตัวยับยั้งเอนไซม์ส่วนใหญ่จับกับเอนไซม์ได้ค่อนข้างจำเพาะ การวัดปริมาณสารในวิถีเมแทบอลิซึมที่สะสมเพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อเติมตัวยับยั้งจะสามารถบอกลำดับการเกิดปฏิกิริยาเคมีในวิถีเมแทบอลิซึมได้

ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยาเคมีในวิถีเมแทบอลิซึมหนึ่งซึ่งมี 2 ขั้นตอน ประกอบด้วยสาร P สาร Q และสาร R โดยมีเอนไซม์ E_1 และ E_2 เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยา เมื่อเติมตัวยับยั้งที่ขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ E_2 ทำให้ปริมาณของสาร Q สะสมมากขึ้น ปริมาณของสาร P ค่อย ๆ ลดลง และไม่เกิดสาร R เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสรุปลำดับของปฏิกิริยาได้เป็น $P \xrightarrow{E_1} Q \xrightarrow{E_2} R$ เนื่องจากสาร P เปลี่ยนเป็นสาร Q ได้ แต่สาร Q เปลี่ยนเป็นสาร R ไม่ได้

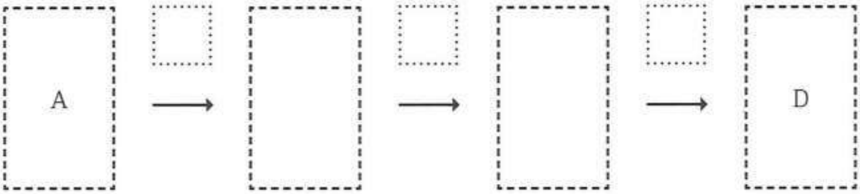
กรณีศึกษา

สมมติให้วิถีเมแทบอลิซึมหนึ่งมี 3 ขั้นตอน โดยมีเอนไซม์ E_1 E_2 และ E_3 เกี่ยวข้องในวิถีเมแทบอลิซึมนี้ มีสาร A เป็นสารตั้งต้น มีสาร B และ C เกิดขึ้นระหว่างวิถีเมแทบอลิซึม และมีสาร D เป็นสารผลิตภัณฑ์สุดท้าย

เมื่อทำการทดลองเพื่อหาลำดับของปฏิกิริยาต่าง ๆ ในวิถีเมแทบอลิซึมนี้ได้เติมตัวยับยั้งเอนไซม์แต่ละชนิด ได้ผลการทดลองดังแสดงในกราฟด้านล่างนี้



? จากข้อมูลข้างต้น ลำดับของการเกิดสารในปฏิกิริยาเป็นอย่างไร



? ถ้าตัวยับยั้งเอนไซม์ E_2 เป็นตัวยับยั้งแบบแข่งขัน เมื่อเพิ่มปริมาณของสาร A ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในวิถีนี้ จะพบว่าปริมาณของสาร D มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

การเปลี่ยนแปลงของสารและพลังงานเป็นกระบวนการสำคัญของสิ่งมีชีวิต โดยสารต่าง ๆ จะสะสมพลังงานอยู่ในพันธะเคมี ปฏิกิริยาการสังเคราะห์และสลายสารต่างๆ ของสิ่งมีชีวิตจะเกิดการเปลี่ยนแปลงพันธะเคมี ซึ่งมีทั้งที่ดูดพลังงานและคายพลังงาน เอนไซม์เป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้เมแทบอลิซึมที่กล่าวมาเกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสม หากขาดเอนไซม์แม้ตัวใดตัวหนึ่งไป จะทำให้ปฏิกิริยาหนึ่งไม่สามารถเปลี่ยนสารตั้งต้นเป็นสารผลิตภัณฑ์ได้ และส่งผลต่อปฏิกิริยาในลำดับถัดไป จนอาจมีผลกระทบต่อการดำรงชีวิต

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

1. สิ่งมีชีวิตประกอบด้วยธาตุและสารประกอบ ในร่างกายของสิ่งมีชีวิตมีน้ำเป็นองค์ประกอบมากที่สุด น้ำประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนและออกซิเจน มีสมบัติในการเป็นตัวทำละลายที่ดี เก็บความร้อนได้ดี และมีความจุความร้อนสูง ซึ่งช่วยในการรักษาดุลยภาพของเซลล์

2. ธาตุที่สิ่งมีชีวิตต้องการจะอยู่ในรูปของไอออน สิ่งมีชีวิตต้องการธาตุบางชนิดในปริมาณเล็กน้อย แต่ถ้าได้รับปริมาณไม่เพียงพอหรือเมื่อมีการสูญเสียไปอาจทำให้การทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ผิดปกติได้

3. คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และกรดนิวคลิอิก เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากโมเลกุลหน่วยย่อยเรียกว่ามอโนเมอร์หลายโมเลกุลเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเคมี เช่น การเชื่อมต่อกันของกลูโคสกลายเป็นแป้ง การเชื่อมต่อกันของกรดแอมิโนเกิดเป็นโปรตีน การเชื่อมต่อกันของนิวคลีโอไทด์เกิดเป็นสาย DNA

4. คาร์โบไฮเดรตประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน คาร์โบไฮเดรตแบ่งตามขนาดโมเลกุลได้เป็น มอโนแซ็กคาไรด์ ไดแซ็กคาไรด์ และพอลิแซ็กคาไรด์

5. โปรตีนมีกรดแอมิโนเป็นหน่วยย่อยประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และไนโตรเจน บางชนิดอาจมี ธาตุฟอสฟอรัส เหล็ก และกำมะถัน เป็นองค์ประกอบ

6. ลิพิดประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นสารประกอบที่ละลายได้ดีในตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ ลิพิดกลุ่มสำคัญที่พบในสิ่งมีชีวิต เช่น กรดไขมัน ไตรกลีเซอไรด์ ฟอสโฟลิพิด สเตอรอยด์

7. กรดนิวคลิอิกประกอบด้วยหน่วยย่อย เรียกว่า นิวคลีโอไทด์ โมเลกุลของนิวคลีโอไทด์ประกอบด้วย น้ำตาลเพนโทสที่มีคาร์บอน 5 อะตอม ไนโตรจีนัสเบส และหมู่ฟอสเฟต

8. กรดนิวคลิอิกมี 2 ชนิด คือ DNA ทำหน้าที่เป็นข้อมูลทางพันธุกรรมที่สามารถถ่ายทอดจากรุ่นหนึ่งไปยังรุ่นต่อไปได้ และ RNA ทำหน้าที่ควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนที่ทำหน้าที่ต่าง ๆ ในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

9. เมแทบอลิซึมในสิ่งมีชีวิตเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของสารและพลังงาน ซึ่งมีทั้งปฏิกิริยาดูดพลังงาน และปฏิกิริยาคายพลังงาน

10. พลังงานที่ใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ของเซลล์ ได้มาจากพลังงานที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาคายพลังงาน ซึ่งส่วนใหญ่ถูกเก็บในรูปของสารพลังงานสูง ATP และถูกนำไปใช้ในอีกปฏิกิริยาหนึ่งต่อไป
11. เอนไซม์ช่วยเร่งปฏิกิริยาเคมีในเซลล์สิ่งมีชีวิตโดยช่วยลดพลังงานกระตุ้น โดยเอนไซม์มีบริเวณเร่งที่จำเพาะให้สารตั้งต้นเข้าจับและเกิดปฏิกิริยา
12. การควบคุมเมแทบอลิซึมทำได้โดยการควบคุมการทำงานของเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ในวิถีเมแทบอลิซึมนั้น

แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 2

1. จงใส่เครื่องหมายถูก (√) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำ หรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

.... 1.1 โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ลิพิด และกรดนิวคลิอิก เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ เกิดจากหน่วยย่อย (monomer) มาเรียงต่อกัน

....

.... 1.2 เซลลูโลสจัดเป็นไดแซ็กคาไรด์ ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของผนังเซลล์พืช

....

.... 1.3 ฮีโมโกลบินและฮอร์โมนบางชนิดจัดเป็นโปรตีน

....

.... 1.4 ไตรเพปไทด์ประกอบด้วยกรดแอมิโนมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ 3 พันธะ

....

.... 1.5 ลิพิดให้พลังงานได้มากกว่าคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนเมื่อเทียบน้ำหนักที่เท่ากัน

....

.... 1.6 ไตรกลีเซอไรด์เป็นลิพิดที่พบมากในพืชและสัตว์ ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของกลีเซอรอล 3 โมเลกุล และกรดไขมัน 1 โมเลกุล

....

.... 1.7 อะไมโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เก็บสะสมในเซลล์พืช ประกอบด้วยกลูโคสเรียงต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะไกลโคซิดิกแบบ β และไม่มีการแตกแขนง

....

.... 1.8 อะไมโลเพกทินเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เก็บไว้ในเซลล์สัตว์ ประกอบด้วยกลูโคสที่ต่อกันเป็นสายยาวมีแขนงแตกกิ่งก้านออกไปเป็นสายสั้น ๆ จำนวนมาก

....

.... 1.9 กรดแอมิโนที่ร่างกายต้องการและสังเคราะห์เองไม่ได้ ต้องได้รับจากอาหาร เรียกว่ากรดแอมิโนที่ไม่จำเป็น

....

.... 1.10 ข้าวเหนียวมีสัดส่วนอะไมโลเพกทินต่ออะไมโลสสูงกว่าข้าวเจ้า

....

.... 1.11 ไหมละลายที่ใช้เย็บแผลได้จากไคทินซึ่งเป็นสารประเภทโปรตีนในเปลือกกุ้ง

....

.... 1.12 คอลลาเจนเป็นสารประเภทโปรตีน ไม่สามารถซึมผ่านผิวหนังได้ และเมื่อรับประทานเข้าไปจะถูกย่อยโดยเอนไซม์ได้เป็นกรดแอมิโน

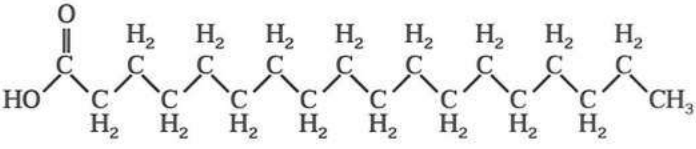
....

.... 1.13 นิวคลีโอไทด์ที่มีเบสไทมีนเป็นองค์ประกอบของ DNA และ RNA

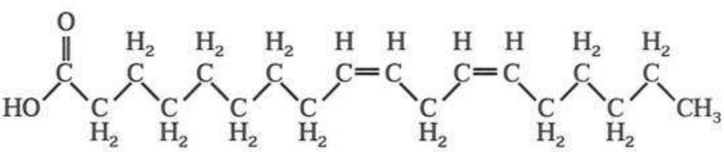
....

2. พิจารณาสูตรโครงสร้างของกรดไขมัน 2 ชนิดต่อไปนี้

กรดไขมัน A



กรดไขมัน B



จงใส่เครื่องหมายถูก (√) หน้าข้อความที่ถูกต้อง ใส่เครื่องหมายผิด (×) หน้าข้อความที่ไม่ถูกต้อง และขีดเส้นใต้เฉพาะคำ หรือส่วนของข้อความที่ไม่ถูกต้อง และแก้ไขโดยตัดออกหรือเติมคำหรือข้อความที่ถูกต้องลงในช่องว่าง

.... 2.1 กรดไขมัน A มีจำนวนอะตอมของไฮโดรเจนน้อยกว่ากรดไขมัน B

....

.... 2.2 ในไขมันสัตว์มักจะพบกรดไขมัน A สูงกว่ากรดไขมัน B

....

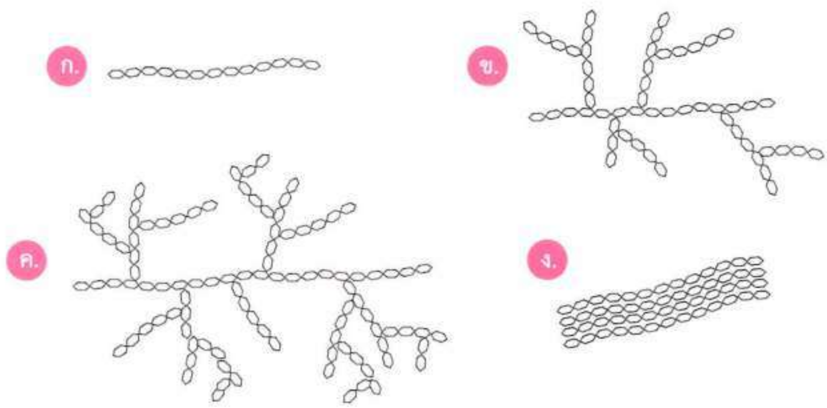
.... 2.3 โดยทั่วไปน้ำมันพืชมักจะมีกรดไขมัน B อยู่ปริมาณสูงเมื่อเทียบกับที่พบในไขมันสัตว์ จึงทำให้น้ำมันพืชมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง

....

.... 2.4 สูตรโมเลกุลของกรดไขมัน A คือ $C_{18}H_{35}COOH$ และสูตรโมเลกุลของกรดไขมัน B คือ $C_{18}H_{31}COOH$

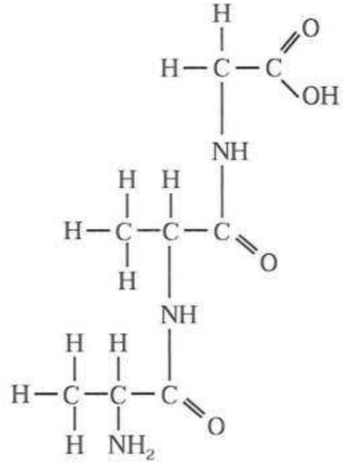
....

3. จากภาพแสดงโครงสร้างส่วนหนึ่งของพอลิแซ็กคาไรด์ จงตอบคำถามต่อไปนี้

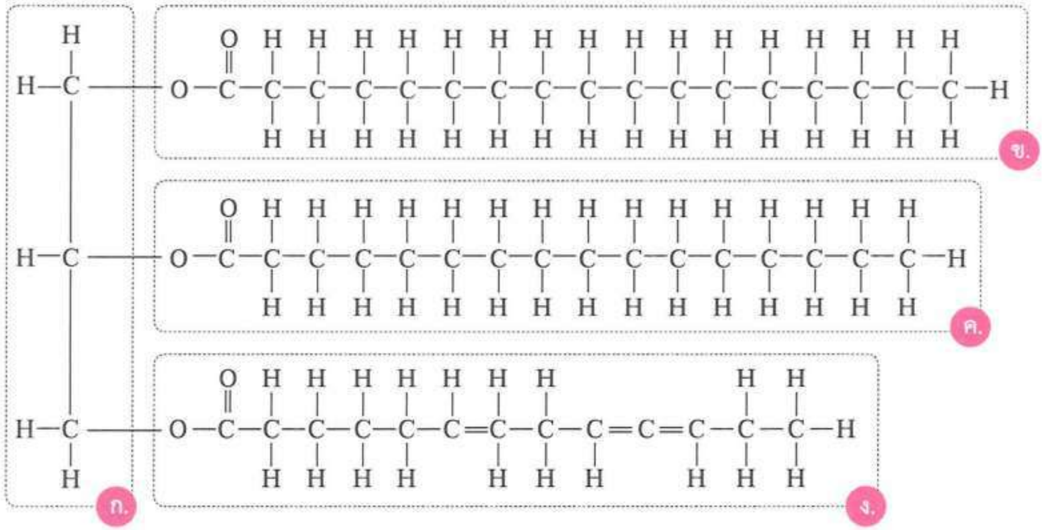


3.1 พอลิแซ็กคาไรด์ชนิดใดบ้างที่เป็นองค์ประกอบของแป้ง
3.2 พอลิแซ็กคาไรด์ชนิดใดบ้างที่พบในพืช
3.3 พอลิแซ็กคาไรด์ชนิดใดบ้างที่มีพันธะไกลโคซิดิกแบบ β (β - glycosidic bond)
3.4 พอลิแซ็กคาไรด์ชนิดใดบ้างที่พบในเซลล์กล้ามเนื้อ

4. จากโครงสร้างของสารที่กำหนดให้มีกรดแอมิโนทั้งหมดกี่โมเลกุลมาเชื่อมต่อกัน กี่ชนิด และชื่ออะไรบ้าง



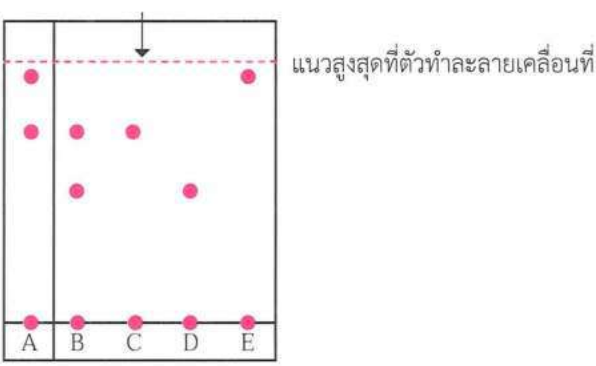
5. จากโครงสร้างของสาร จงตอบคำถามต่อไปนี้



5.1 สารนี้จัดเป็นสารประกอบคาร์บอนชนิดใด

5.2 องค์ประกอบ ก. ข. ค. และ ง. คือโมเลกุลของสารใด

6. ไดแซ็กคาไรด์ 5 ชนิด คือ A B C D และ E ถูกย่อยให้เป็นมอนอแซ็กคาไรด์ เมื่อนำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาแยกด้วยเทคนิค paper chromatography ได้ผลการทดลอง ดังภาพ



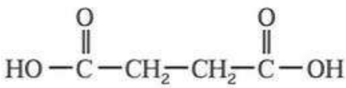
ถ้ากำหนดให้จุด A คือ ผลจากการย่อยซูโครส จุดใดคือผลจากการย่อยมอลโทส และแล็กโทส ตามลำดับ

7. อะไมเลสเร่งปฏิกิริยาการย่อยแป้งได้น้ำตาล จากการศึกษาการทำงานของอะไมเลสที่อุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าเป็นดังนี้

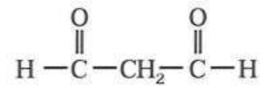
อุณหภูมิ (°C)	อัตราการย่อยแป้ง (มวล/เวลา)
0	0.0
10	0.4
20	0.6
30	0.8
40	1.0
50	0.4
60	0.2
70	0.0

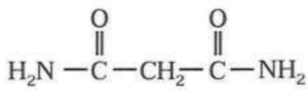
7.1 ตัวแปรต้นของการทดลองนี้คืออะไร
7.2 ในการทดลองนี้มีการวัดผลการทดลองอย่างไร
7.3 จากการผลการทดลองนี้ จะสรุปผลการทดลองได้ว่าอย่างไร
7.4 จากข้อมูลนี้เอนไซม์อะไมเลสจะทำงานได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิเท่าใด
7.5 จากข้อมูลในตารางให้วาดกราฟและอธิบายผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา

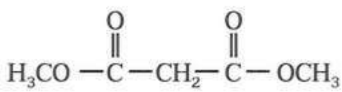
8. ถ้ากำหนดให้ succinic acid เป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยาหนึ่ง ซึ่งมีเอนไซม์ succinate dehydrogenase เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดย succinic acid มีสูตรโครงสร้างดังนี้

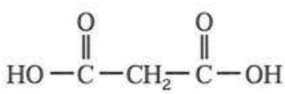


สารใดต่อไปนี้มีความเป็นไปได้มากที่สุดที่จะเป็นตัวยับยั้งแบบแข่งขันที่จะไปแย่งจับที่บริเวณเร่งของเอนไซม์ succinate dehydrogenase ทำให้สารตั้งต้นไม่สามารถจับกับเอนไซม์ได้ จงอธิบายพร้อมให้เหตุผลประกอบด้วย

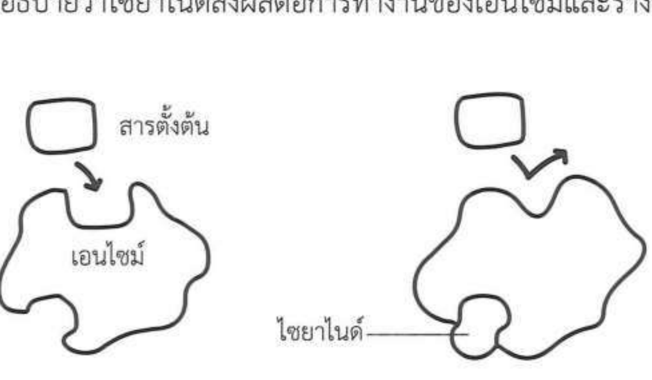
สาร ก. 

สาร ข. 

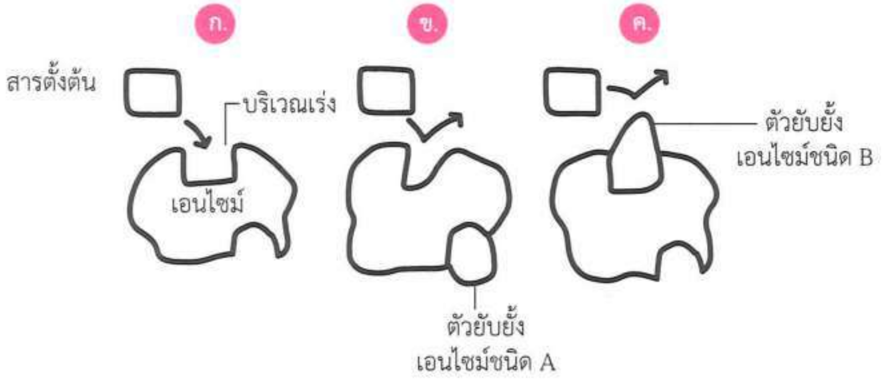
สาร ค. 

สาร ง. 

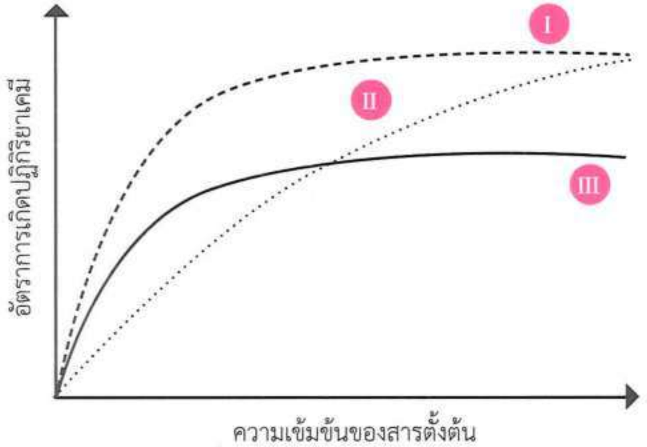
9. ไซยาไนด์เป็นสารพิษที่สามารถจับกับเอนไซม์ cytochrome C oxidase ที่ทำหน้าที่ในการถ่ายทอดอิเล็กตรอนไปยังออกซิเจนในกระบวนการหายใจระดับเซลล์เพื่อสร้างพลังงาน จากแผนภาพจงอธิบายว่าไซยาไนด์ส่งผลต่อการทำงานของเอนไซม์และร่างกายอย่างไร



10. จากภาพแสดงการจับกันของเอนไซม์ชนิดหนึ่งกับสารตั้งต้นในสภาวะปกติ (ก.) ในสภาวะที่มีตัวยับยั้งเอนไซม์ชนิด A (ข.) และในสภาวะที่มีตัวยับยั้งเอนไซม์ชนิด B (ค.)



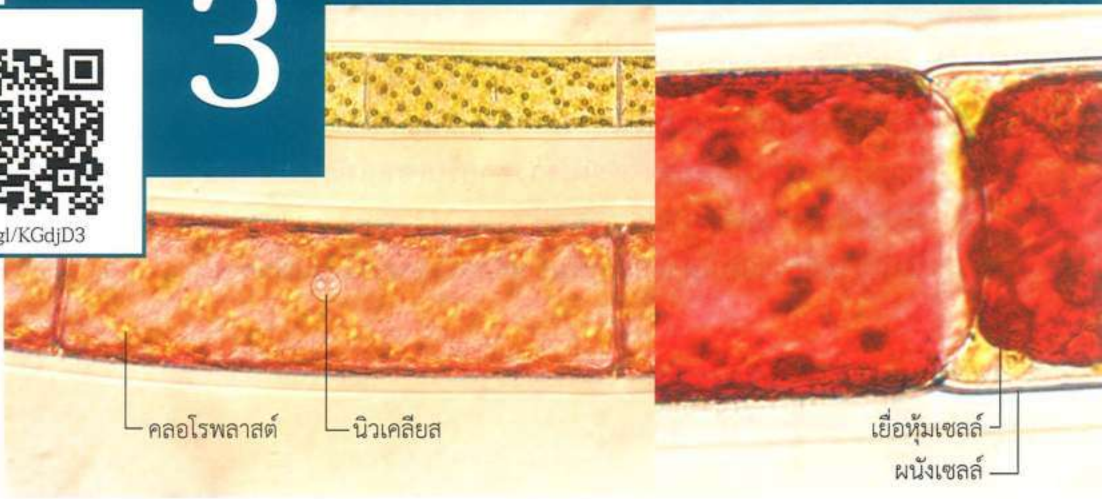
พิจารณากราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารตั้งต้นกับอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่อไปนี้



จากข้อมูลข้างต้นให้ระบุว่าแผนภาพ ก. ข. และ ค. สอดคล้องกับเส้นกราฟใดบ้าง อธิบายและให้เหตุผลประกอบ

บทที่ 3 | เซลล์และการทำงานของเซลล์

goo.gl/KGdjD3



สไปโรไจรา (Spirogyra) เป็นสาหร่ายสีเขียวที่มีลักษณะเป็นเส้นยาว หากมองด้วยตาเปล่าจะไม่สามารถสังเกตเห็นโครงสร้างที่ทำงานอยู่ภายในเซลล์ซึ่งทำให้เซลล์มีชีวิตอยู่ได้ จึงต้องอาศัยกล้องจุลทรรศน์ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญสำหรับใช้ศึกษาโครงสร้างและองค์ประกอบที่มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น เพื่อให้ทราบถึงโครงสร้างและหน้าที่ของแต่ละส่วนว่ามีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของเซลล์อย่างไร ตัวอย่างโครงสร้างที่มีความสำคัญต่อเซลล์ที่เห็นได้จากภาพด้านบน คือ เยื่อหุ้มเซลล์ของสาหร่ายสไปโรไจราที่มีสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่านซึ่งสำคัญต่อการรักษาสมดุลของสารภายในเซลล์ โดยปกติสีย้อมส่วนใหญ่จะไม่สามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ขณะที่เซลล์ยังมีชีวิตอยู่ได้ แต่สีย้อมบางชนิดสามารถแพร่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ไปสะสมอยู่ในโครงสร้างต่าง ๆ โดยที่เซลล์ยังมีชีวิตอยู่ ซึ่งจัดเป็นการลำเลียงสารผ่านเซลล์รูปแบบหนึ่ง นอกจากนี้ยังมีกิจกรรมอื่น ๆ ของเซลล์ที่เกิดขึ้นตลอดเวลาขณะเซลล์มีชีวิตอยู่ เช่น การหายใจระดับเซลล์ซึ่งมีความสำคัญในการสร้างพลังงานจากการสลายสารอาหาร การสังเคราะห์ด้วยแสงในกรณีของพืช และการแบ่งเซลล์ที่มีความสำคัญในการเพิ่มจำนวนเซลล์และเกี่ยวข้องกับการสืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต

การศึกษาโครงสร้างและการทำงานของเซลล์ นอกจากจะมีประโยชน์ในการเพิ่มความรู้ด้านชีววิทยาของเซลล์แล้ว ยังนำความรู้เกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของเซลล์ไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ ได้ เช่น การเกษตร การแพทย์ซึ่งล้วนต้องอาศัยพื้นฐานเกี่ยวกับโครงสร้างและการทำงานของเซลล์ทั้งสิ้น

คำถามสำคัญ

1. **การใช้กล้องจุลทรรศน์ศึกษาสิ่งมีชีวิตให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดควรทำอย่างไร**
2. **เซลล์ทุกชนิดมีโครงสร้างพื้นฐานเหมือนกันอย่างไร**
3. **การทำงานร่วมกันของโครงสร้างภายในเซลล์ทำให้เซลล์มีชีวิตและทำงานอย่างมีประสิทธิภาพได้อย่างไร**
4. **สิ่งมีชีวิตมีการเติบโต การสืบพันธุ์ หรือสร้างเซลล์ใหม่ได้อย่างไร**

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ระบุส่วนประกอบ และบอกหน้าที่ของส่วนประกอบกล้องจุลทรรศน์ใช้แสง
2. บอกวิธีการใช้ และการดูแลรักษากล้องจุลทรรศน์ใช้แสงที่ถูกต้อง
3. บอกวิธีการ และเตรียมตัวอย่างสิ่งมีชีวิตเพื่อศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง
4. สังเกต วัดขนาดโดยประมาณและวาดภาพตัวอย่างสิ่งมีชีวิตที่ปรากฏภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ
5. อธิบายโครงสร้าง และบอกหน้าที่ส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์ของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์
6. สืบค้นข้อมูล อธิบาย ระบุชนิดและบอกหน้าที่ของออร์แกเนลล์
7. อธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของนิวเคลียส
8. อธิบาย และเปรียบเทียบการแพร่ ออสโมซิส การแพร่แบบฟาซิลิเทต และแอกทีฟทรานสปอร์ต
9. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และเขียนแผนภาพการลำเลียงสารโมเลกุลใหญ่ออกจากเซลล์ด้วยกระบวนการเอกโซไซโทซิสและการลำเลียงสารโมเลกุลใหญ่เข้าสู่เซลล์ด้วยกระบวนการเอนโดไซโทซิส
10. อธิบาย และสรุปขั้นตอนการสลายกลูโคสในภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอ
11. อธิบาย และสรุปขั้นตอนการสลายกลูโคสในภาวะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอ
12. เปรียบเทียบขั้นตอนการหายใจระดับเซลล์ในภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอกับภาวะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอ

13. ระบุชนิดของการแบ่งเซลล์และบอกความสำคัญของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและไมโอซิส
14. อธิบายความหมายของฮอมอโลกัสโครโมโซม เซลล์ดิพลอยด์ เซลล์แฮพลอยด์
15. อธิบายวัฏจักรเซลล์
16. อธิบายการเปลี่ยนแปลงของนิวเคลียสในการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส
17. อธิบายการเปลี่ยนแปลงของนิวเคลียสในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส
18. อธิบาย และเปรียบเทียบเซลล์ที่ได้จากการแบ่งแบบไมโทซิสและแบบไมโอซิส

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนใส่เครื่องหมายถูก (√) หรือผิด (×) หน้าข้อความตามความเข้าใจของนักเรียน

◯ 1. การศึกษาการไหลเวียนของไซโทพลาซึมในเซลล์สาหร่ายหางกระรอกสามารถศึกษาได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ

◯ 2. การศึกษาการจัดเรียงตัวของใบสาหร่ายหางกระรอกสามารถศึกษาได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ

◯ 3. โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์ ได้แก่ ส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์ ไซโทพลาซึม และนิวเคลียส

◯ 4. ถ้าเยื่อหุ้มเซลล์เสียสภาพแต่เซลล์ยังมีนิวเคลียสอยู่เซลล์จะยังทำงานได้เป็นปกติ

◯ 5. การแพร่เกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลสารโดยใช้พลังงานจลน์ของโมเลกุล

◯ 6. ออสโมซิสเป็นการแพร่ของน้ำจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารต่ำไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นของสารสูงโดยไม่จำเป็นต้องผ่านเยื่อเลือกผ่าน

◯ 7. การหายใจระดับเซลล์เกิดขึ้นได้ทั้งภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอและออกซิเจนไม่เพียงพอ

◯ 8. จุดประสงค์หนึ่งของการแบ่งเซลล์คือการเติบโต

◯ 9. เซลล์ลูกที่ได้จากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสทำให้เกิดความหลากหลายของสิ่งมีชีวิต

◯ 10. เซลล์ลูกที่ได้จากการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสจะมีจำนวนโครโมโซมเท่ากับเซลล์แม่

3.1 กล้องจุลทรรศน์

กล้องจุลทรรศน์เป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ศึกษาสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กและรายละเอียดโครงสร้างของเซลล์ ที่ไม่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยขยายศักยภาพทางด้านการมองเห็นของมนุษย์ไปพร้อม ๆ กับความก้าวหน้าทางด้านวิทยาศาสตร์ในหลายแขนง โดยมีประวัติเริ่มต้นการประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์ดังรูป 3.1



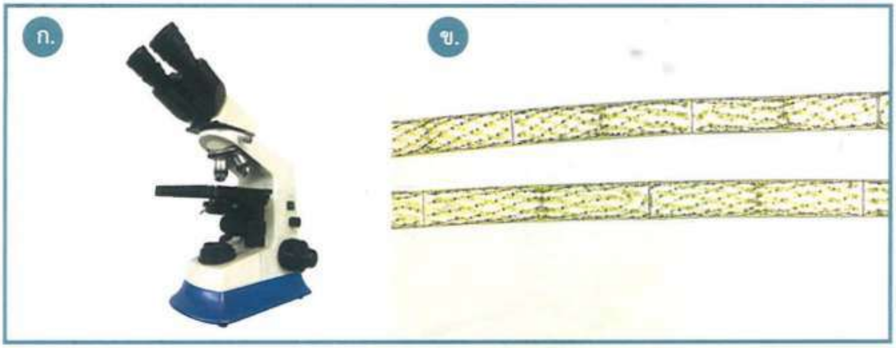
รูป 3.1 ประวัติเริ่มต้นการประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์

กล้องจุลทรรศน์ยังคงมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนถึงปัจจุบันเพื่อให้ได้กล้องจุลทรรศน์ที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับใช้ศึกษาองค์ความรู้ต่าง ๆ ทางด้านชีววิทยา กล้องจุลทรรศน์จำแนกได้เป็น 2 ชนิด คือ **กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง** (light microscope) และ**กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน** (electron microscope) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการใช้งานที่แตกต่างกัน

กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง

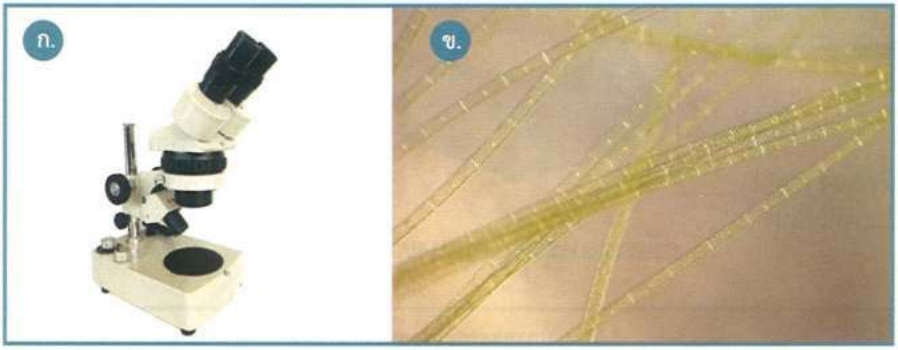
กล้องจุลทรรศน์ที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการชีววิทยาทั่วไป คือ กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง หลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงจะใช้ลำแสงที่เป็นช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นได้และชุดของเลนส์แก้วทำให้เกิดภาพขยาย ซึ่งภาพปรากฏให้เห็นได้โดยตรงในลำกล้อง กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ **กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ** (compound microscope) และ**กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ** (stereoscopic microscope)

กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ เป็นกล้องชนิดเลนส์ประกอบ นิยมใช้ศึกษาโครงสร้างภายในของสิ่งมีชีวิตระดับเนื้อเยื่อและเซลล์ รวมถึงลักษณะและการจัดเรียงตัวของเซลล์ ภาพที่เกิดขึ้นเป็นภาพเสมือนหัวกลับและกลับซ้ายเป็นขวา โดยทั่วไปมีกำลังขยายประมาณ 1,000 เท่า ลักษณะของกล้องและภาพที่ได้จากกล้องดังรูป 3.2



รูป 3.2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ
ก. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ
ข. ภาพสไปโรไจราที่มองเห็นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ

กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ เป็นกล้องชนิดเลนส์ประกอบสามารถใช้ศึกษาโครงสร้างภายนอกของวัตถุที่ทึบแสง มีกำลังขยายต่ำกว่ากล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ ซึ่งภาพที่เกิดขึ้นเป็นภาพ 3 มิติ และเป็นภาพเสมือนหัวตั้งไม่กลับซ้ายขวา โดยทั่วไปมีกำลังขยายประมาณ 30-40 เท่า ลักษณะของกล้องและภาพที่ได้จากกล้องดังรูป 3.3



รูป 3.3 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ
ก. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ
ข. ภาพสไปโรไจราที่มองเห็นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ

การรู้จักส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์ใช้แสง รวมถึงเข้าใจวิธีการใช้งานและการเก็บรักษาอย่างถูกต้อง จะทำให้ใช้กล้องจุลทรรศน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและยาวนานมากขึ้น

ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์ใช้แสง

ส่วนประกอบและหน้าที่ของส่วนต่าง ๆ ของกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบและแบบสเตอริโอแสดงไว้ในรูป 3.4



กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ

* **ปุ่มปรับภาพของกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ** แบ่งได้เป็น



ปุ่มปรับภาพหยาบ (coarse adjustment knob) ใช้เลื่อนแท่นวางวัตถุขึ้นลง เพื่อปรับให้เห็นภาพได้อย่างหยาบและใช้ปรับระยะระหว่างวัตถุกับเลนส์ใกล้วัตถุชนิดกำลังขยายต่ำ

ปุ่มปรับภาพละเอียด (fine adjustment knob) ใช้ปรับภาพให้เห็นชัดเจนขึ้นหลังจากปรับด้วยปุ่มปรับภาพหยาบจนมองเห็นภาพแล้ว หรือใช้ปรับระยะระหว่างวัตถุกับเลนส์ใกล้วัตถุชนิดกำลังขยายสูง



กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ

กำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์ = กำลังขยายของเลนส์ใกล้ตา × กำลังขยายของเลนส์ใกล้วัตถุ

รูป 3.4 ส่วนประกอบและหน้าที่ของส่วนต่าง ๆ ของกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบและกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ

จากการศึกษาส่วนประกอบของกล้องทั้ง 2 แบบแล้ว การทำกิจกรรม 3.1 ประกอบกับการศึกษาวิธีใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง วิธีการดูแลและเก็บรักษากล้องจุลทรรศน์ (ภาคผนวก) จะทำให้เข้าใจถึงวิธีการใช้งานและเก็บรักษากล้องจุลทรรศน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กิจกรรม 3.1 การศึกษาสิ่งมีชีวิตด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสง

จุดประสงค์

1. เปรียบเทียบภาพตัวอักษรภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบและแบบสเตอริโอ
2. เตรียมตัวอย่างสิ่งมีชีวิตเพื่อศึกษาโครงสร้างภายนอกโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ
3. เตรียมตัวอย่างสิ่งมีชีวิตเพื่อศึกษาโครงสร้างภายในโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ
4. วาดภาพและบันทึกสิ่งที่ได้จากการสังเกตและชี้ส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างเซลล์ที่สามารถมองเห็นได้
5. ศึกษาปรากฏการณ์การไหลเวียนของไซโทพลาซึมในใบสาหร่ายหางกระรอก
6. เปรียบเทียบรูปร่าง ลักษณะ ขนาดและโครงสร้างภายในของเซลล์พืช และเซลล์สัตว์
7. คำนวณกำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์และหาขนาดโดยประมาณของสิ่งมีชีวิตที่ศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ

วัสดุและอุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ
2. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ
3. สไลด์และกระจกปิดสไลด์
4. จานเพาะเชื้อ
5. เข็มเขี่ย
6. หลอดหยด
7. ใบมีดโกน
8. ไม้จิ้มฟันหัวแบน
9. กระดาษเยื่อ
10. ไม้บรรทัดพลาสติกใส
11. น้ำ
12. สารละลายไอโอดีนความเข้มข้น 2%
13. สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 2-3%
14. เอทิลแอลกอฮอล์ 70%
15. ตัวอักษร
16. หอมแดงหรือหอมใหญ่
17. เยื่อบุด้านในข้างแก้ม
18. สาหร่ายหางกระรอก
19. พลานาเรีย

วิธีการทำกิจกรรม

ตอนที่ 1 การศึกษาภาพตัวอักษรและเปรียบเทียบภาพตัวอักษรภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ และแบบสเตอริโอ

1. นำตัวอักษรที่ต้องการศึกษาวางบนสไลด์ แล้วนำไปศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ และแบบสเตอริโอ
2. วาดภาพที่เห็นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงทั้ง 2 แบบ พร้อมระบุกำลังขยายที่ใช้
3. ทำตารางเปรียบเทียบลักษณะของภาพตัวอักษร ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงทั้ง 2 แบบ

ตอนที่ 2 การศึกษาสิ่งมีชีวิตโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ ศึกษาโครงสร้างภายนอกของสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ดังนี้

1. นำหอมแดงมาผ่าเป็นครึ่งซีกวางบนจานเพาะเชื้อแล้วศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง วาดภาพที่เห็นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พร้อมระบุกำลังขยายที่ใช้
2. นำสาหร่ายหางกระรอกมาใส่ในจานเพาะเชื้อที่มีน้ำประมาณ ⅓ ของความลึกจานแล้วศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ วาดภาพที่เห็นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พร้อมระบุกำลังขยายที่ใช้
3. นำพลานาเรียมาใส่ในจานเพาะเชื้อที่มีน้ำแล้วศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง วาดภาพที่เห็นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พร้อมระบุกำลังขยายที่ใช้

ตอนที่ 3 การศึกษาสิ่งมีชีวิตโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ ศึกษาโครงสร้างภายในของเซลล์สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ดังนี้

3.1 การศึกษาเซลล์เยื่อหอม

1. หยดน้ำ 1 หยดบนสไลด์ที่ 1 และหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2% บนสไลด์ที่ 2
2. ลอกเยื่อด้านในของกลีบหอมแดงแบ่งเป็น 2 ชิ้น วางบนสไลด์ที่มีหยดน้ำ หรือสารละลายโซเดียมคลอไรด์ตามลำดับเป็นเวลา 3-5 นาที
3. นำสไลด์ทั้ง 2 แผ่นไปศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ สังเกตการเรียงตัวของเซลล์ ส่วนประกอบของเซลล์ วาดภาพที่เห็นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พร้อมระบุกำลังขยายที่ใช้และเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของไซโทพลาซึมระหว่างเยื่อหอมทั้ง 2 ชิ้น

3.2 การศึกษาเซลล์สาหร่ายหางกระรอก

1. หยดน้ำ 1 หยดบนสไลด์
2. นำใบอ่อนสาหร่ายหางกระรอกมาวางบนสไลด์ที่มีหยดน้ำแล้วปิดด้วยกระจกปิดสไลด์
3. ศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ สังเกตส่วนประกอบของเซลล์จากการศึกษาการไหลเวียนของไซโทพลาซึม (สังเกตคลอโรพลาสต์ และขอบเขตของแวคิวโอลจากการไหล) วาดภาพที่เห็นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พร้อมระบุกำลังขยายที่ใช้และระบุทิศทางของการไหล

3.3 การศึกษาเซลล์เยื่อบุด้านในข้างแก้ม

1. หยดน้ำกลั่น 1 หยดบนสไลด์ 2 แผ่น
2. ทำความสะอาดไม้จิ้มฟันชนิดหัวแบนด้วยแอลกอฮอล์ 70% แล้วนำไปขูดเบา ๆ ที่เยื่อบุด้านในของข้างแก้ม นำมาวางที่หยดน้ำบนสไลด์ทั้ง 2 แผ่น หยดสารละลายไอโอดีนความเข้มข้น 2% ลงบนสไลด์ 1 แผ่น ปิดด้วยกระจกปิดสไลด์
3. ศึกษาเปรียบเทียบเยื่อบุด้านในข้างแก้มที่ไม่หยดและหยดสารละลายไอโอดีนภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ วาดภาพที่เห็นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พร้อมระบุกำลังขยายที่ใช้

คำถามท้ายกิจกรรม

? ถ้าต้องการให้ภาพที่อยู่มุมบนด้านซ้ายของจอภาพมาอยู่ตรงกลางจอภาพ จะปรับเลื่อนส่วนใดของกล้อง และปรับเลื่อนอย่างไร

? ไซโทพลาซึมของเซลล์เยื่อหอมแดงหลังจากหยดสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 2% เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างไร

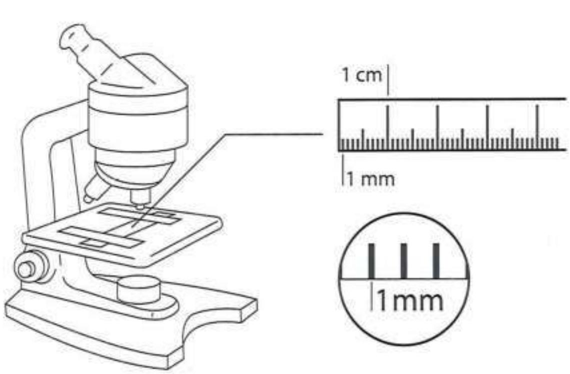
? นักเรียนสังเกตเห็นอะไรบ้างภายในเซลล์สาหร่ายหางกระรอก

? ถ้าวัตถุที่นำมาศึกษามีความบางและใสมาก เช่น เซลล์เยื่อบุด้านในข้างแก้มที่ไม่ย้อมสารละลายไอโอดีน เมื่อต้องการให้เห็นวัตถุชัดเจนขึ้นจะต้องปรับส่วนประกอบใดของกล้องและปรับอย่างไร

? จากการศึกษาเซลล์เยื่อหอม สาหร่ายหางกระรอก และเยื่อบุด้านในข้างแก้มภายใต้กล้องจุลทรรศน์พบโครงสร้างของเซลล์เหล่านี้เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

ตอนที่ 4 การคำนวณหาขนาดของวัตถุ หรือขนาดของภาพจากกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ

1. อ่านค่ากำลังขยายของเลนส์ใกล้ตา และเลนส์ใกล้วัตถุ
2. คำนวณกำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์โดยคิดจาก ผลคูณระหว่างกำลังขยายของเลนส์ใกล้ตากับเลนส์ใกล้วัตถุ และบันทึกผลลงในตารางข้อ 5
3. วางไม้บรรทัดพลาสติกใสอย่างบางโดยที่ด้านเซนติเมตรอยู่ตรงช่องกลมของแท่นวางวัตถุของกล้องจุลทรรศน์ ปรับให้มองเห็นสเกลชัดเจนโดยใช้เลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 4× และ 10× นับจำนวนมิลลิเมตรจากขอบจอภาพด้านหนึ่งจนถึงขอบจอภาพอีกด้านหนึ่ง ดังรูป



วิธีการวางไม้บรรทัดบนแท่นวางวัตถุ

การหาขนาดของวัตถุจากเส้นผ่านศูนย์กลางของจอภาพ จากสูตรการหาเส้นผ่านศูนย์กลางของจอภาพ (ขณะที่ศึกษา)

เส้นผ่านศูนย์กลางของจอภาพ (ขณะที่ศึกษา) = (กำลังขยายต่ำสุดของเลนส์ใกล้วัตถุ × เส้นผ่านศูนย์กลางของจอภาพที่กำลังขยายต่ำสุด) / (กำลังขยายของเสนส์ใกล้วัตถุขณะที่ศึกษา)

4. ใช้สไลด์ที่มีเซลล์เยื่อหอม หรือสาหร่ายหางกระรอก จากตอนที่ 3 นำมาส่องภายใต้กล้องจุลทรรศน์และหาความยาวโดยประมาณของเซลล์ โดยเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางของจอภาพ
5. บันทึกค่าที่ได้จากข้อ 2. 3. และ 4. ลงในตาราง

กำลังขยาย			เส้นผ่านศูนย์กลางของจอภาพ (มิลลิเมตร)	ขนาดโดยประมาณของเซลล์เยื่อหอมหรือสาหร่ายหางกระรอกที่เห็นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (มิลลิเมตร)
เลนส์ใกล้ตา	เลนส์ใกล้วัตถุ	กล้องจุลทรรศน์		
	4×			
	10×			

6. คำนวณหาขนาดของวัตถุ หรือขนาดของภาพจากกล้องจุลทรรศน์
   การหาขนาดของวัตถุจากกำลังขยายของภาพ
   สูตรหากำลังขยายของภาพหรือกำลังขยายของกล้องจุลทรรศน์

$$\text{กำลังขยายของภาพ} = \frac{\text{ขนาดของภาพ}}{\text{ขนาดของวัตถุ}}$$

คำถามท้ายกิจกรรม

? เมื่อนำสาหร่ายหางกระรอกไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจอภาพประมาณ 1,600 ไมโครเมตร พบเซลล์สาหร่ายหางกระรอกเรียงต่อกันตามยาว 8 เซลล์ ความยาวของเซลล์สาหร่ายหางกระรอก 1 เซลล์ จะเท่ากับกี่มิลลิเมตร แสดงวิธีคำนวณ

? กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 40 เท่า เมื่อใช้ไม้บรรทัดใสวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของจอภาพได้ 3.75 มิลลิเมตร เมื่อกำลังขยายของกล้องเปลี่ยนเป็น 100 เท่า และ 400 เท่า เส้นผ่านศูนย์กลางของจอภาพจะเท่ากับกี่ไมโครเมตร แสดงวิธีคำนวณ

? ถ้าพารามีเซียมมีขนาดยาว 100 ไมโครเมตร เมื่อนำไปศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีเลนส์ใกล้ตากำลังขยาย 10× และเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 10× จะเห็นภาพพารามีเซียมมีความยาวเป็นกี่เท่าของขนาดจริงและภาพของพารามีเซียมมีความยาวกี่เซนติเมตร แสดงวิธีคำนวณ

? ถ้าวัตถุมีความยาว 4 ไมโครเมตร เมื่อนำมาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์จะมีความยาวประมาณ 4 มิลลิเมตร กล้องนี้มีกำลังขยายเท่าใด แสดงวิธีคำนวณ

จากกิจกรรมจะเห็นว่ากล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบทำให้มองเห็นโครงสร้างบางชนิดของเซลล์ได้ อย่างไรก็ตามยังมีส่วนอื่น ๆ ของเซลล์ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 0.2 ไมโครเมตร ที่ไม่สามารถเห็นภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงอีกจำนวนมากซึ่งเกี่ยวข้องกับการดำรงชีวิตของเซลล์ดังตาราง 3.1 **แล้วจะสามารถเห็นรายละเอียดของเซลล์ที่เล็กกว่า 0.2 ไมโครเมตรได้อย่างไร** นักวิทยาศาสตร์จึงได้ประดิษฐ์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนขึ้นมาทำให้สามารถใช้ศึกษาองค์ประกอบดังกล่าวได้

ตาราง 3.1 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตามนุษย์และกล้องจุลทรรศน์

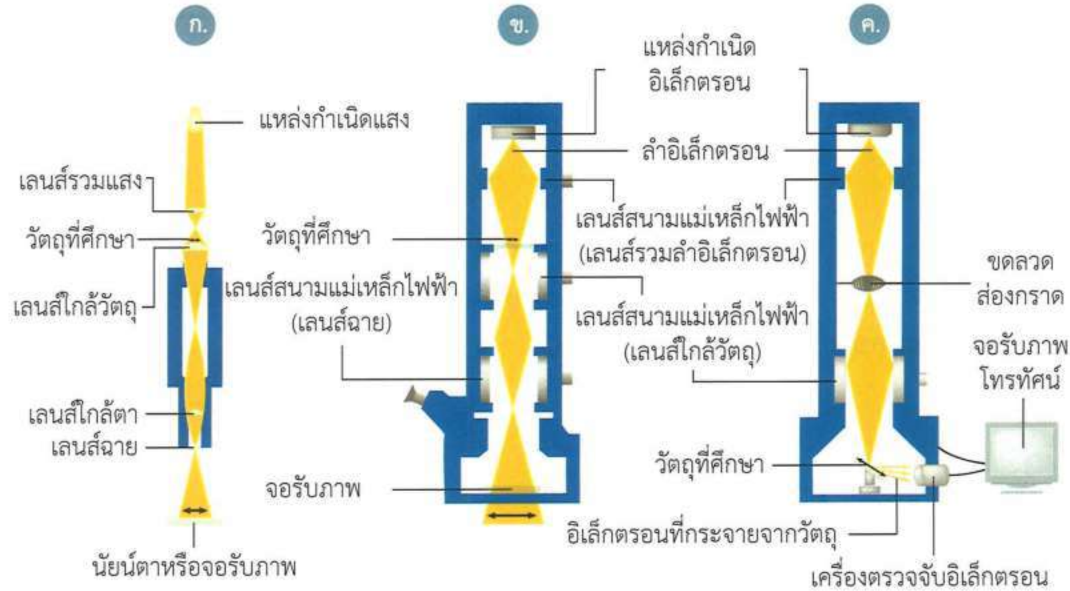
ขนาดและหน่วยที่ใช้วัดขนาด	ประสิทธิภาพของตามนุษย์และกล้องจุลทรรศน์	ขนาดของตัวอย่าง เซลล์และองค์ประกอบของเซลล์	
1 เซนติเมตร $= \frac{1}{100}$ เมตร $=10^{-2}$ เมตร	ตามนุษย์	ไข่แดงของไข่ไก่	3 เซนติเมตร
1 มิลลิเมตร $= \frac{1}{1,000}$ เมตร $=10^{-3}$ เมตร		ไข่กบ ไข่ปลา	1 มิลลิเมตร
1 ไมโครเมตร $= \frac{1}{1,000,000}$ เมตร $=10^{-6}$ เมตร	กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	เซลล์ไข่ของมนุษย์ เซลล์พืช เซลล์สัตว์ คลอโรพลาสต์ ไมโทคอนเดรีย *Anabaena* sp. *Escherichia coli*	100 ไมโครเมตร 10-100 ไมโครเมตร 10-30 ไมโครเมตร 2-10 ไมโครเมตร 1-5 ไมโครเมตร 5 ไมโครเมตร 1 ไมโครเมตร
1 นาโนเมตร $= \frac{1}{1,000,000,000}$ เมตร $=10^{-9}$ เมตร		ไวรัสขนาดใหญ่ ไรโบโซม ความหนาของเยื่อหุ้มเซลล์ เส้นผ่านศูนย์กลางของเกลียวคู่ของ DNA อะตอมไฮโดรเจน	100 นาโนเมตร 25 นาโนเมตร 7-10 นาโนเมตร 2 นาโนเมตร 0.1 นาโนเมตร

ความรู้เพิ่มเติม

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมีกำลังขยายสูงมาก เนื่องจากใช้ลำอิเล็กตรอนที่มีคลื่นความถี่สูงมาใช้แทนแสง ทำให้สามารถเห็นรายละเอียดของวัตถุได้มาก จึงใช้ศึกษาสิ่งที่มีขนาดเล็กที่ไม่สามารถศึกษาได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ใช้แสง กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมีองค์ประกอบหลักดังนี้ แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ชุดเลนส์สนามแม่เหล็กไฟฟ้า และจอรับภาพ แบ่งได้เป็น 2 ชนิด ได้แก่ กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (transmission electron microscope หรือ TEM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope หรือ SEM) ซึ่งกล้องทั้งสองชนิดสามารถใช้ศึกษาโครงสร้างระดับนาโนเมตรได้ แต่ภาพที่ได้มีลักษณะที่ต่างกัน การเลือกใช้จึงขึ้นกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการศึกษา

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน มีหลักการทำงานเริ่มจากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนยิงลำอิเล็กตรอนผ่านเลนส์รวมไปยังตัวอย่างชิ้นบางซึ่งย้อมด้วยสารประกอบโลหะหนักที่ทึบลำอิเล็กตรอน ลำอิเล็กตรอนจะส่องผ่านตัวอย่างบริเวณที่ย้อมโลหะหนักได้มากน้อยแตกต่างกันไปตามปริมาณของโลหะหนักที่ย้อมติด จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะส่องผ่านไปยังชุดเลนส์ใกล้วัตถุและเลนส์ฉายแล้วเกิดภาพบนจอรับภาพ วัตถุประสงค์ในการเลือกใช้กล้อง TEM คือ เพื่อศึกษาโครงสร้างภายในของวัตถุหรือสิ่งมีชีวิตซึ่งมีความบางมาก ปัจจุบันกล้องชนิดนี้พัฒนาไปมากจนมีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 1 ล้านเท่า

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด มีหลักการทำงานเริ่มจากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนยิงลำอิเล็กตรอนผ่านเลนส์รวม ผ่านขดลวดส่องกราดเพื่อควบคุมลำอิเล็กตรอนให้ผ่านเลนส์ใกล้วัตถุกราดไปบนผิวของตัวอย่างที่เคลือบด้วยโลหะประเภททองคำ ทำให้อิเล็กตรอนจากทองคำหลุดกระจายออกมาและจะถูกตรวจจับด้วยเครื่องตรวจจับอิเล็กตรอนแล้วแปลสัญญาณเป็นภาพแบบ 3 มิติ วัตถุประสงค์ในการเลือกใช้กล้อง SEM คือ เพื่อศึกษาโครงสร้างผิวด้านนอกของวัตถุ ปัจจุบันกล้อง SEM มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 400,000 เท่า



รูปเส้นทางเดินลำแสงและลำอิเล็กตรอน
ก. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง ข. TEM ค. SEM

การพัฒนากล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนเพื่อใช้ศึกษาด้านชีววิทยาของเซลล์สามารถช่วยขยายขอบเขตความเข้าใจองค์ประกอบต่าง ๆ ของเซลล์ที่ทำให้เซลล์สามารถมีชีวิตอยู่ได้ ซึ่งจะได้ศึกษาองค์ประกอบของเซลล์ที่ไม่สามารถเห็นจากกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงในหัวข้อถัดไป

3.2 โครงสร้างและหน้าที่ของเซลล์

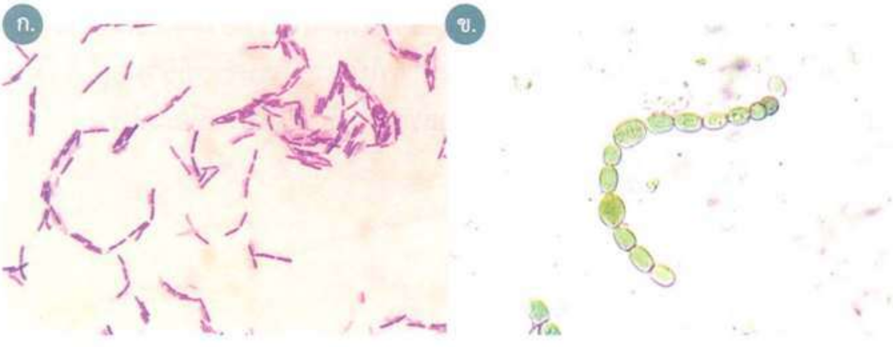
เซลล์เป็นหน่วยพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต ทั้งสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวและสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ที่ประกอบด้วยเซลล์ต่าง ๆ ทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบ เซลล์จะทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพต้องอาศัยการทำงานร่วมกันของโครงสร้างต่าง ๆ ของเซลล์

โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์ยูแคริโอตแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์ ไซโทพลาซึม และนิวเคลียส ซึ่งในไซโทพลาซึมจะพบโครงสร้างขนาดเล็กที่มีลักษณะแตกต่างกันและทำหน้าที่เฉพาะ เรียกว่า **ออร์แกเนลล์** (organelle) ดังรูป 3.5

ความรู้เพิ่มเติม

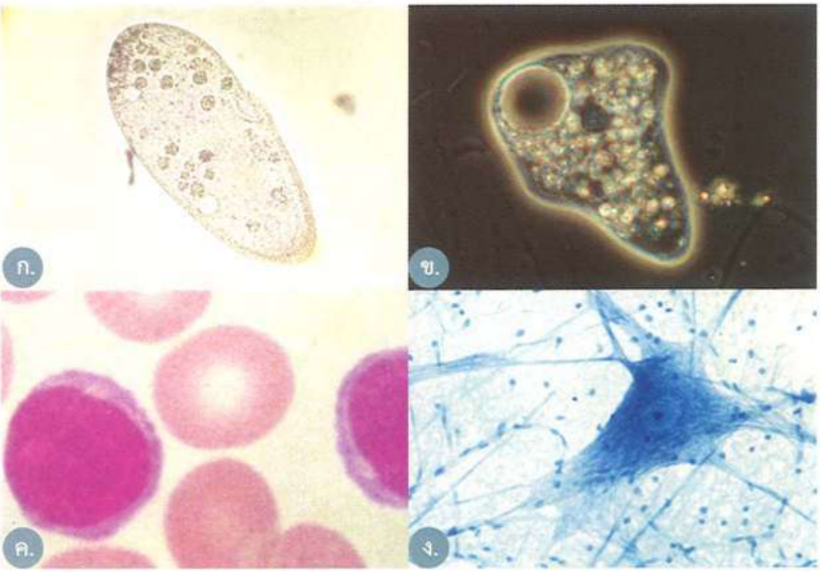
เซลล์มี 2 ประเภท คือ **เซลล์โพรแคริโอต** (prokaryotic cell) และ**เซลล์ยูแคริโอต** (eukaryotic cell)

สิ่งมีชีวิตโพรแคริโอต (prokaryote) ประกอบด้วยเซลล์ที่ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส และไม่มีออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม บริเวณที่ DNA อยู่ในไซโทพลาซึม เรียกว่า **นิวคลีออยด์** (nucleoid) ตัวอย่าง เช่น แบคทีเรีย สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ดังรูป



รูปตัวอย่างเซลล์โพรแคริโอต
ก. แบคทีเรีย *Bacillus subtilis*
ข. สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (*Anabaena* sp.)

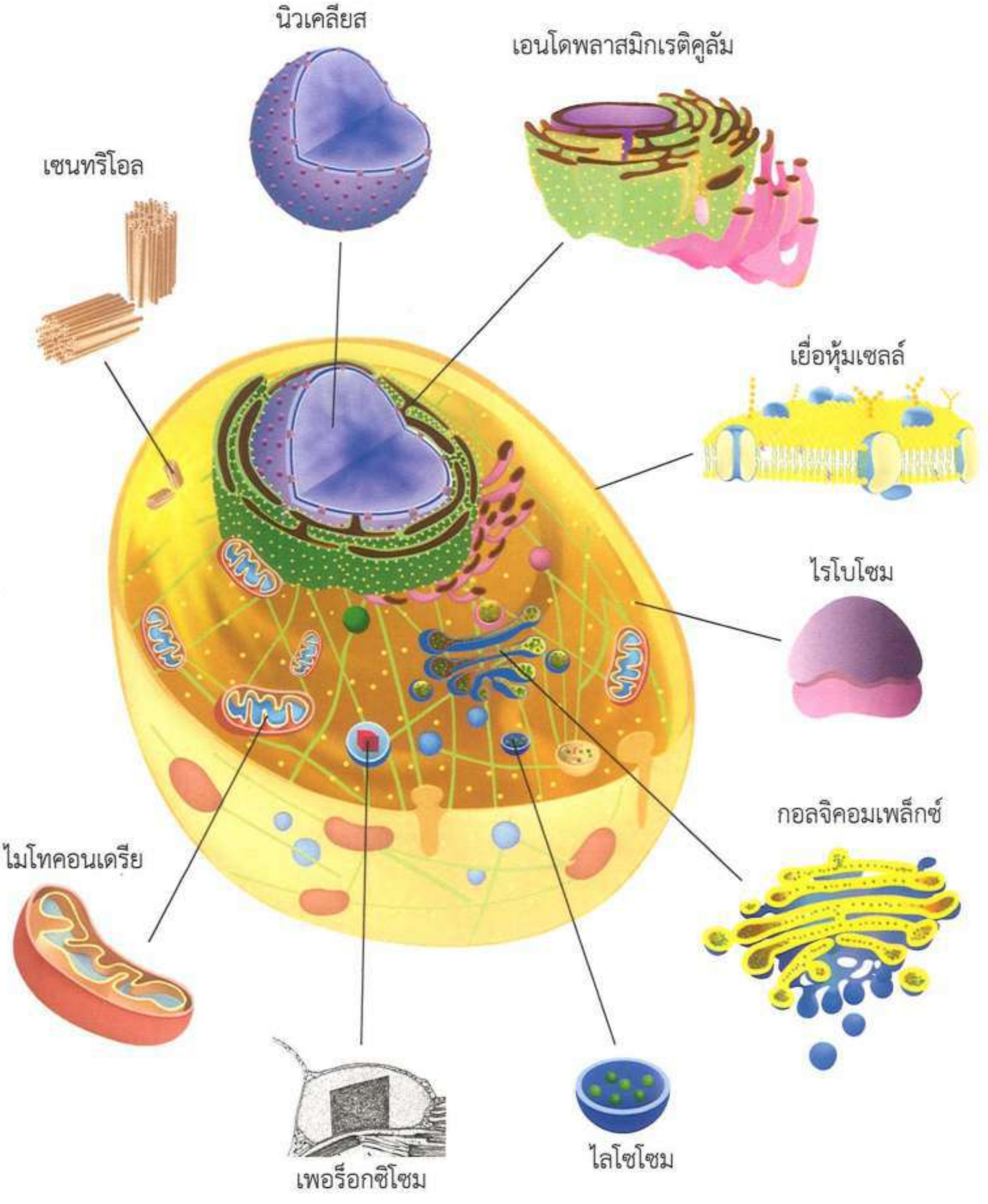
สิ่งมีชีวิตยูแคริโอต (eukaryote) คือ สิ่งมีชีวิตที่ประกอบด้วยเซลล์ที่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียสและออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้มหลากหลายชนิด ทำให้เซลล์แบบนี้มีการแบ่งแต่ละส่วนของเซลล์ไปทำหน้าที่เฉพาะ ตัวอย่างเช่น พารามีเซียม อะมีบา เซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดต่าง ๆ เซลล์ประสาท ดังรูป



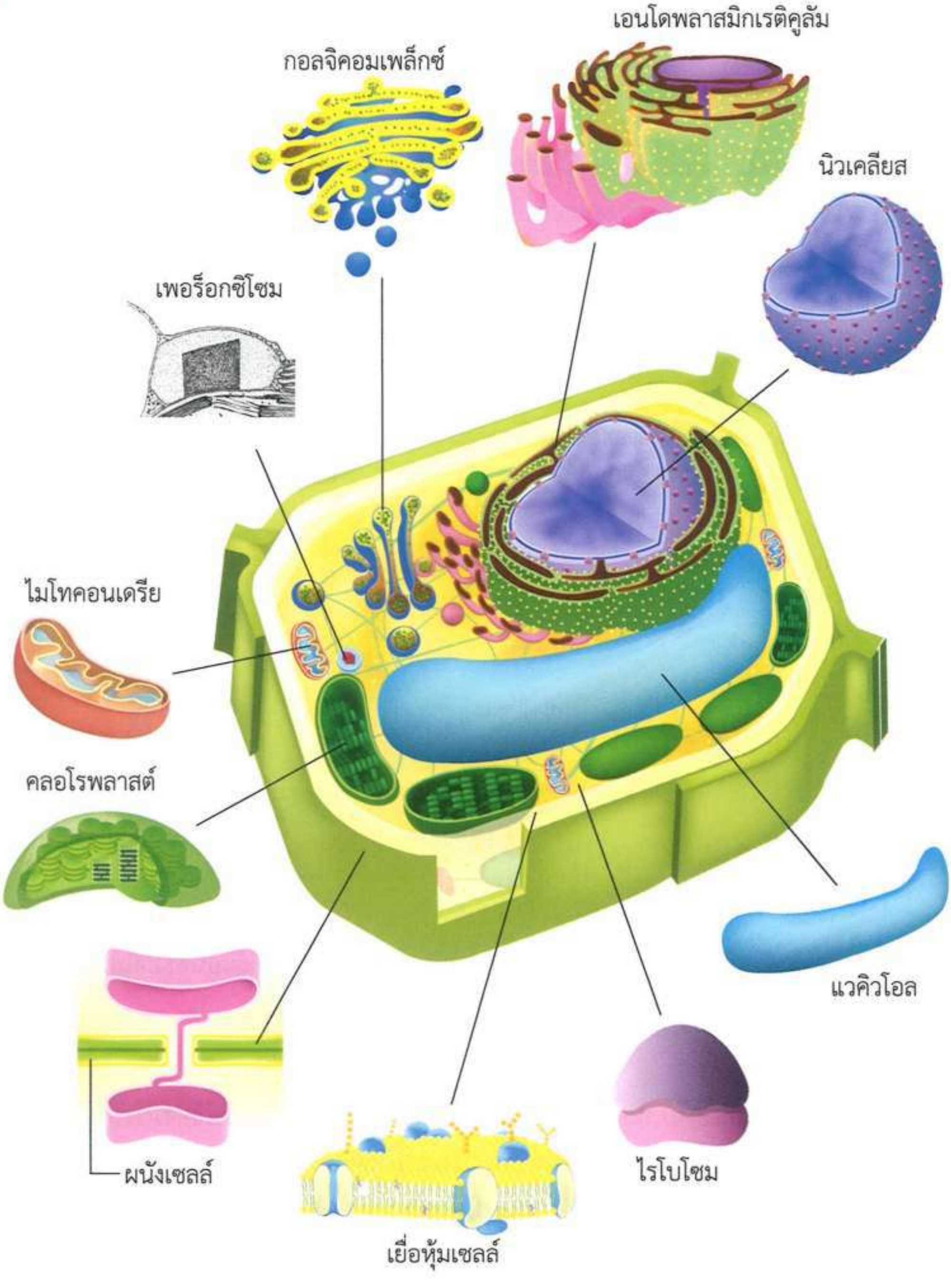
รูปตัวอย่างเซลล์ยูแคริโอต

ก. พารามีเซียม ข. อะมีบา
ค. เซลล์เม็ดเลือดขาว ง. เซลล์ประสาท

ก.


นิวเคลียส
เอนโดพลาสมิกเรติคูลัม
เซนทริโอล
เยื่อหุ้มเซลล์
ไรโบโซม
กอลจิคอมเพล็กซ์
ไมโทคอนเดรีย
เพอร์ออกซิโซม
ไลโซโซม

ข.

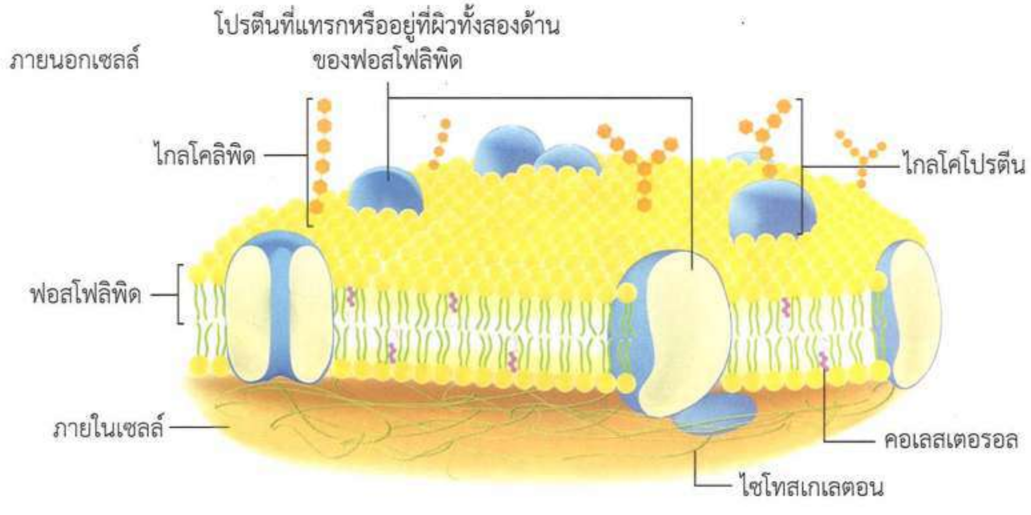


รูป 3.5 โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์สัตว์และเซลล์พืช
ก. เซลล์สัตว์ ข. เซลล์พืช

3.2.1 ส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์

ส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์ เป็นโครงสร้างที่ห่อหุ้มไซโทพลาซึมให้คงรูปร่างและแสดงขอบเขตของเซลล์ คือ เยื่อหุ้มเซลล์ ในสิ่งมีชีวิตบางชนิด เช่น พืช จะมีผนังเซลล์หุ้มด้านนอก

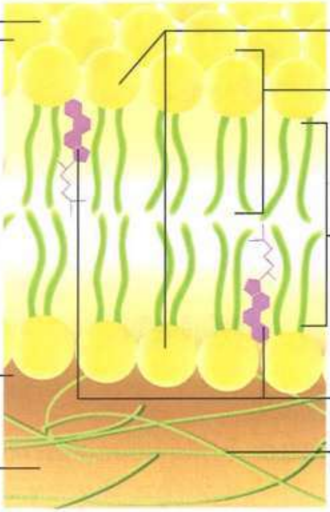
เยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์ที่พบในเซลล์ทุกชนิด โดยมีโครงสร้างหลักประกอบด้วย ลิพิด และโปรตีน นอกจากนี้ยังมีสายคาร์โบไฮเดรตเกาะอยู่บริเวณผิวด้านนอก และมีไซโทสเกเลตอนติดอยู่กับโปรตีนที่ผิวด้านในของเยื่อหุ้มเซลล์ เนื่องจากลิพิดมีความเหลวและเคลื่อนที่ในแนวระนาบได้ จึงทำให้โปรตีนเคลื่อนที่ได้ในแนวระนาบเช่นกัน เรียกลักษณะการจัดเรียงตัวขององค์ประกอบเยื่อหุ้มเซลล์แบบนี้ว่า **ฟลูอิดโมเซอิกโมเดล** (fluid mosaic model) ดังรูป 3.6 และ 3.7



รูป 3.6 โครงสร้างเยื่อหุ้มเซลล์แบบฟลูอิดโมเซอิกโมเดล

ลิพิด

โครงสร้างหลักของเยื่อหุ้มเซลล์ คือ ฟอสโฟลิพิด (phospholipid) ซึ่งเรียงตัวเป็น 2 ชั้น (lipid bilayer) ฟอสโฟลิพิดประกอบด้วยส่วนหัวที่ชอบน้ำ (hydrophilic head) ซึ่งมีสมบัติไฮโดรฟิลิก และส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic tail) ซึ่งมีสมบัติไฮโดรโฟบิก โดยหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำหรือส่วนที่มีสมบัติไฮโดรโฟบิกเรียงตัวหันเข้าหากัน และส่วนที่ชอบน้ำหรือส่วนที่มีสมบัติไฮโดรฟิลิกหันออกด้านนอกเซลล์และด้านในเซลล์ ดังรูป 3.7



รูป 3.7 การจัดเรียงตัวของฟอสโฟลิพิดเป็น 2 ชั้นของเยื่อหุ้มเซลล์

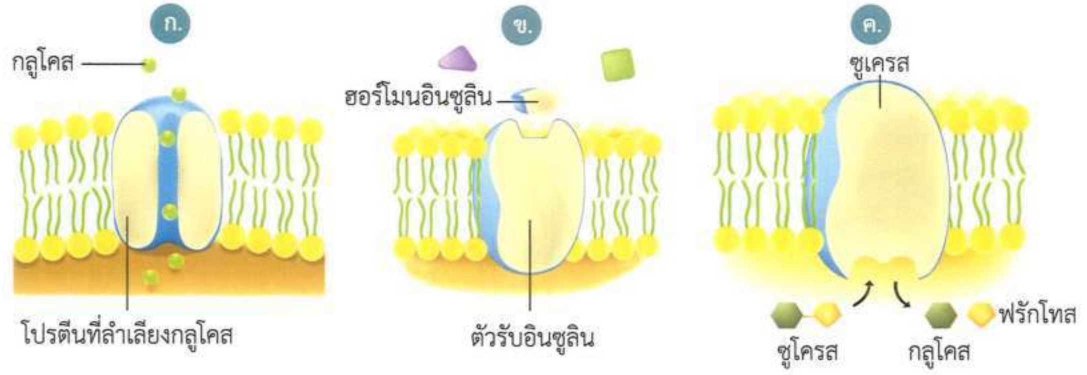
รู้หรือไม่

เยื่อหุ้มเซลล์นอกจากมีฟอสโฟลิพิดแล้วยังมีคอเลสเตอรอลแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของฟอสโฟลิพิดด้วยซึ่งทำหน้าที่ช่วยรักษาสภาพความเหลวของเยื่อหุ้มเซลล์ให้สมดุล

โปรตีน

โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์อาจแทรกหรืออยู่ที่ผิวทั้ง 2 ด้านของฟอสโฟลิพิด จำนวนและชนิดของโปรตีนในเยื่อหุ้มเซลล์จะแตกต่างกันตามชนิดของเซลล์และทำหน้าที่แตกต่างกัน เช่น

- โปรตีนลำเลียง (transport protein) ทำหน้าที่ลำเลียงสาร เช่น โปรตีนที่ลำเลียงกลูโคส
- โปรตีนตัวรับ (receptor protein) ทำหน้าที่ตอบสนองต่อสารเคมีที่มากระตุ้น เช่น ตัวรับของฮอร์โมนอินซูลิน
- โปรตีนเอนไซม์ (enzymatic protein) ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์ เช่น ซูเครส ดังรูป 3.8



รูป 3.8 โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์
ก. โปรตีนลำเลียง ข. โปรตีนตัวรับ ค. โปรตีนเอนไซม์

นอกจากนี้เยื่อหุ้มเซลล์ยังมีคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลต่อกันเป็นสายสั้น ๆ ซึ่งอาจเชื่อมต่อกับลิพิดเรียก ไกลโคลิพิด (glycolipid) หรือเชื่อมต่อกับโปรตีน เรียก ไกลโคโปรตีน (glycoprotein) ดังรูป 3.6

โครงสร้างของโมเลกุลต่าง ๆ ที่ประกอบกันเป็นเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์มีสมบัติเป็นเยื่อเลือกผ่าน (selectively permeable membrane) ซึ่งมีหน้าที่สำคัญในการควบคุมการลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญในการรักษาดุลยภาพของเซลล์

การมีส่วนประกอบของลิพิดที่มีความเหลวทำให้เยื่อหุ้มเซลล์สามารถหลุดออกและเชื่อมต่อกันได้ สามารถสังเกตลักษณะดังกล่าวได้จากการเกิดแวคิวโอล เป็นต้น จากสมบัตินี้ทำให้เซลล์สามารถลำเลียงสารขนาดใหญ่เข้าและออกจากเซลล์ เช่น การกำจัดสิ่งแปลกปลอมออกจากเซลล์โดยเซลล์เม็ดเลือดขาว การกินอาหารของอะมีบา

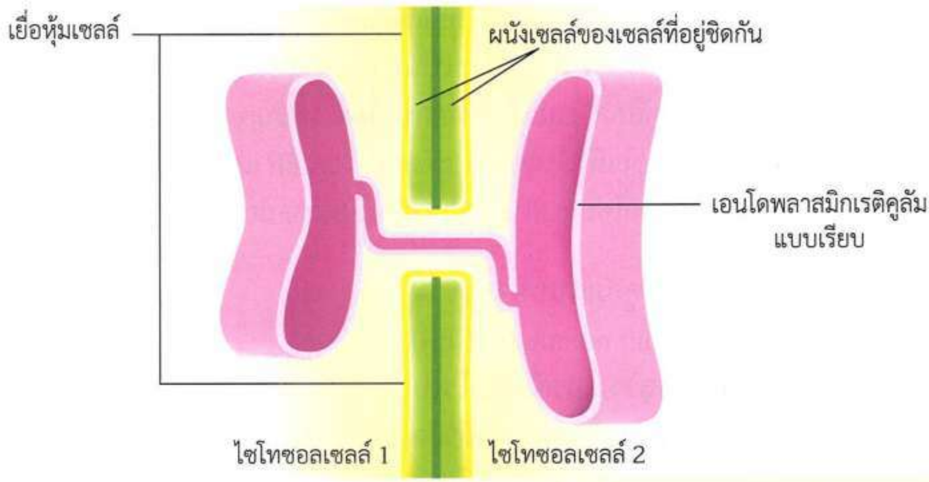
นอกจากนี้เยื่อหุ้มออร์แกเนลล์ต่าง ๆ ยังมีองค์ประกอบของโครงสร้างคล้ายเยื่อหุ้มเซลล์ดังที่กล่าวมาข้างต้น

ตรวจสอบความเข้าใจ

- ? ฟอสโฟลิพิดที่เป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์มีความสำคัญอย่างไรต่อเซลล์
- ? โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์มีบทบาทสำคัญอย่างไรบ้าง

ผนังเซลล์ (cell wall) เป็นโครงสร้างที่หุ้มด้านนอกของเยื่อหุ้มเซลล์ พบได้ในเซลล์พืช สาหร่าย แบคทีเรีย และฟังไจ ไม่พบในเซลล์สัตว์ มีหน้าที่ทำให้เซลล์คงรูปและเพิ่มความแข็งแรงให้กับเซลล์

ผนังเซลล์พืชประกอบด้วยเซลลูโลส (cellulose) และ เพกทิน (pectin) เป็นหลัก เมื่อเซลล์มีอายุมากขึ้นอาจมีสารอื่นมาสะสมเพิ่ม เช่น ลิกนิน (lignin) ซูเบอริน (suberin) เซลล์พืชบางชนิดมีคิวทิน (cutin) สะสมที่ผิวของผนังเซลล์ด้านที่สัมผัสอากาศ บางบริเวณของผนังเซลล์จะมีสายไซโทพลาซึม (cytoplasmic strand) เชื่อมต่อระหว่าง 2 เซลล์ที่อยู่ติดกันซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเริ่มต้นของการสร้างผนังเซลล์ เรียกสายไซโทพลาซึมนี้ว่า **พลาสโมเดสมาตา** (plasmodesmata) เมื่อสร้างผนังเซลล์เสร็จแล้วพลาสโมเดสมาตายังคงมีอยู่จึงเป็นเส้นทางหนึ่งในการลำเลียงสารของพืช ดังรูป 3.9



รูป 3.9 ผนังเซลล์ของพืชแสดงส่วนของพลาสโมเดสมาตา

รู้หรือไม่

ผนังเซลล์ของโพรแคริโอตมักประกอบด้วยสารเพปทิโดไกลแคน (peptidoglycan) หรือไกลโคโปรตีน (glycoprotein)

ผนังเซลล์ของสาหร่ายสีน้ำตาลแกมเหลือง เช่น ไดอะตอม นอกจากมีเซลลูโลสแล้วยังมีซิลิกา (silica) เป็นส่วนประกอบ

ส่วนผนังเซลล์ของเห็ดราจะเป็นสารประกอบไคทิน (chitin)

3.2.2 ไซโทพลาซึม

ไซโทพลาซึม (cytoplasm) เป็นส่วนที่ล้อมรอบนิวเคลียสอยู่ถัดจากเยื่อหุ้มเซลล์ ไซโทพลาซึมประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ออร์แกเนลล์ (organelle) และไซโทซอล (cytosol)

ออร์แกเนลล์

ออร์แกเนลล์มีหลายชนิดกระจายอยู่ในไซโทซอล บางชนิดมีเยื่อหุ้มคล้ายเยื่อหุ้มเซลล์ ออร์แกเนลล์ที่พบได้ในเซลล์ เช่น เอนโดพลาสมิกเรติคูลัม ไรโบโซม กอลจิคอมเพล็กซ์ ไลโซโซม แวคิวโอล ไมโทคอนเดรีย คลอโรพลาสต์ เพอร็อกซิโซม เซนทริโอล ไซโทสเกเลตอน โดยแต่ละออร์แกเนลล์จะมีโครงสร้างและหน้าที่แตกต่างกัน

เอนโดพลาสมิกเรติคูลัม (endoplasmic reticulum; ER) เป็นออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้มชั้นเดียว ขนาดประมาณ 5-10 ไมโครเมตร มีลักษณะเป็นถุงแบนเชื่อมถึงกันกระจายเป็นร่างแหและเรียงซ้อนกันอยู่ล้อมรอบนิวเคลียส และเชื่อมต่อกับเยื่อหุ้มชั้นนอกของนิวเคลียส ที่ผิวนอกของเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมบางบริเวณมีไรโบโซมเกาะติดอยู่ เรียก ER แบบนี้ว่า เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมแบบผิวขรุขระ ส่วน ER ที่ไม่มีไรโบโซมมาเกาะเรียกว่า เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมแบบผิวเรียบ ดังรูป 3.10

- เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมแบบผิวขรุขระ (rough endoplasmic reticulum; RER) เป็นบริเวณที่มีการสร้างโปรตีนโดยไรโบโซม ซึ่งโปรตีนที่สร้างจะเข้าสู่ RER แล้วถูกห่อหุ้มเป็นเวสิเคิล (vesicle) เพื่อส่งต่อไปยังกอลจิคอมเพล็กซ์ก่อนลำเลียงและหลั่งออกนอกเซลล์ หรือไปเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์
- เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมแบบผิวเรียบ (smooth endoplasmic reticulum; SER) ทำหน้าที่สังเคราะห์ลิพิด เช่น สเตอรอยด์ (steroid) และ ฮอร์โมนเพศ (sex hormone) นอกจากนี้ยังทำหน้าที่กำจัดสารพิษ เช่น เซลล์ตับ เป็นแหล่งสะสมแคลเซียมไอออนในเซลล์ เช่น เซลล์กล้ามเนื้อโครงร่าง และเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ

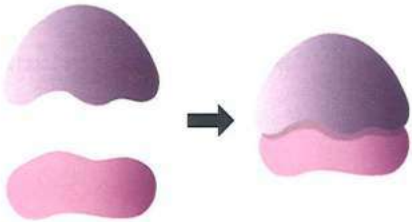


รูป 3.10 โครงสร้างของเอนโดพลาสมิกเรติคูลัม

ตรวจสอบความเข้าใจ

- ? ถ้าในเซลล์ไม่มีเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมจะมีผลอย่างไร
- ? เพราะเหตุใดเซลล์ตับและเซลล์กล้ามเนื้อโครงร่างจึงพบเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมแบบผิวเรียบมากกว่าเซลล์ผิวหนัง

ไรโบโซม (ribosome) เป็นออร์แกเนลล์ขนาดเล็กที่ไม่มีเยื่อหุ้ม เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20-30 นาโนเมตร ไรโบโซมประกอบด้วย 2 หน่วยย่อย (subunit) คือ หน่วยย่อยเล็กและหน่วยย่อยใหญ่ ดังรูป 3.11 ปกติหน่วยย่อยทั้งสองอยู่แยกกัน แต่มารวมกันขณะที่มีการสังเคราะห์โปรตีน แต่ละหน่วยย่อยของไรโบโซมประกอบด้วย โปรตีน และ RNA ไรโบโซมที่เกาะกับ ER สร้างโปรตีนที่เป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์หรือส่งออกนอกเซลล์ ส่วนไรโบโซมที่อยู่ในไซโทซอลทำหน้าที่สร้างโปรตีนสำหรับใช้ภายในเซลล์



รูป 3.11 โครงสร้างของไรโบโซม

? ไรโบโซมที่ติดอยู่กับเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมและที่กระจายอยู่ในไซโทซอลทำหน้าที่เหมือนหรือต่างกันอย่างไร

กอลจิคอมเพล็กซ์ (Golgi complex) หรือ กอลจิบอดี (Golgi body) หรือ กอลจิแอพพาราตัส (Golgi apparatus) เป็นออร์แกเนลล์ขนาดประมาณ 5-10 ไมโครเมตร มีเยื่อหุ้ม 1 ชั้น ลักษณะเป็นถุงแบนซ้อนกันเป็นชั้น ๆ คล้าย ER ตรงริมขอบจะพองออกเป็นเวสิเคิล ดังรูป 3.12 ทำหน้าที่รวบรวมสารทำให้สารเข้มข้น เติมคาร์โบไฮเดรตให้กับโปรตีนหรือลิพิดที่ส่งมาจาก ER ได้เป็นไกลโคโปรตีน หรือ ไกลโคลิพิด เพื่อส่งออกนอกเซลล์หรือเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์

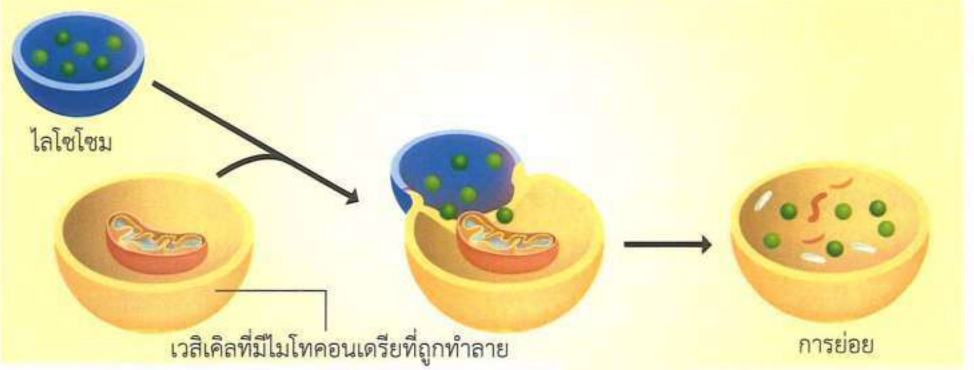


รูป 3.12 โครงสร้างของกอลจิคอมเพล็กซ์

ความรู้เพิ่มเติม

Golgi complex เป็นออร์แกเนลล์ชนิดเดียวที่ต้องเขียนขึ้นต้นภาษาอังกฤษด้วยอักษรตัวใหญ่ ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากชื่อออร์แกเนลล์ชนิดนี้มีที่มาจากชื่อของบุคคลที่เป็นนักวิทยาศาสตร์ทางด้านการแพทย์ชาวอิตาลีชื่อว่า Camillo Golgi โดยในปี พ.ศ. 2428 เขาได้ตีพิมพ์ผลงานการพบกอลจิคอมเพล็กซ์ครั้งแรกและได้รับรางวัล Nobel Prize สาขาสรีรวิทยาหรือการแพทย์ปี พ.ศ. 2449

ไลโซโซม (lysosome) เป็นเวสิเคิลที่สร้างมาจากกอลจิคอมเพล็กซ์ มีเยื่อหุ้ม 1 ชั้น ลักษณะเป็นถุงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5-1.0 ไมโครเมตร พบในเซลล์สัตว์และอาจพบในเซลล์พืชและโพรทิสต์บางชนิดด้วย ภายในไลโซโซมมีเอนไซม์กลุ่มไฮโดรเลส (hydrolase) ชนิดต่าง ๆ ที่ย่อยคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ลิพิด และโมเลกุลต่าง ๆ ที่ได้รับจากนอกเซลล์หรือส่วนประกอบของเซลล์ที่เซลล์ไม่ต้องการ ไลโซโซมที่สร้างจากกอลจิคอมเพล็กซ์จะมีเอนไซม์ที่ยังไม่ทำงาน เมื่อไลโซโซมรวมกับออร์แกเนลล์อื่น เช่น เวสิเคิลหรือแวคิวโอล หรือออร์แกเนลล์ที่หมดอายุทำให้เอนไซม์ในไลโซโซมเปลี่ยนเป็นรูปที่ทำงานได้ ดังรูป 3.13

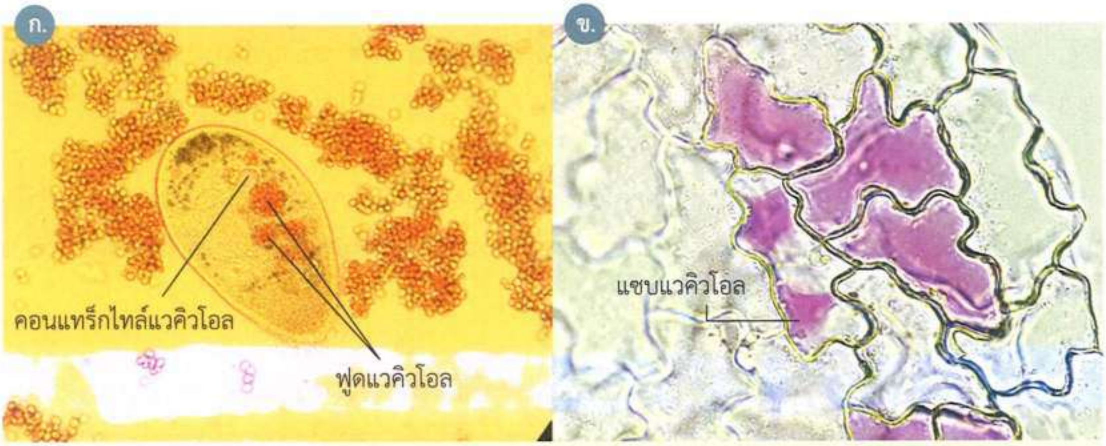


รูป 3.13 การทำงานของไลโซโซม

? เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมแบบผิวขรุขระ และกอลจิคอมเพล็กซ์ เกี่ยวข้องกับการสร้างไลโซโซมอย่างไร

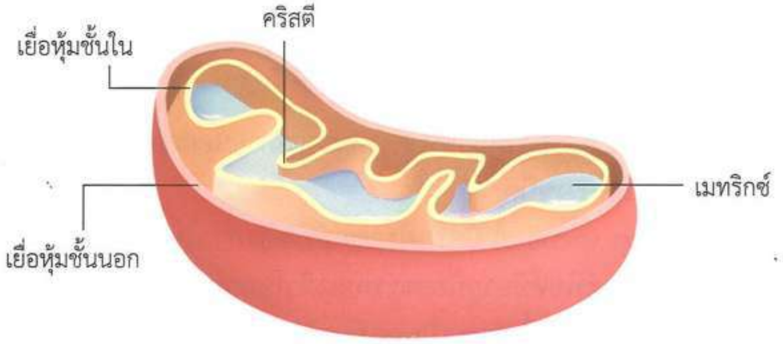
แวคิวโอล (vacuole) มีลักษณะเป็นถุงที่มีเยื่อหุ้ม 1 ชั้น มีหลายชนิดซึ่งมีรูปร่าง ขนาด และหน้าที่แตกต่างกัน เช่น

- คอนแทร็กไทล์แวคิวโอล (contractile vacuole) ทำหน้าที่รักษาดุลยภาพของน้ำ เช่น พบในอะมีบา และพารามีเซียม
- ฟูดแวคิวโอล (food vacuole) ทำหน้าที่รับสารที่มาจากภายนอกเซลล์ พบในเซลล์เม็ดเลือดขาวบางชนิดและโพรทิสต์บางชนิด
- แซบแวคิวโอล (sap vacuole) มักพบในเซลล์พืชซึ่งภายในส่วนใหญ่เป็นน้ำและอาจมีสารอื่น ๆ ด้วย ในเซลล์พืชที่มีอายุน้อยจะพบแวคิวโอลขนาดเล็กจำนวนมาก แต่เมื่อเซลล์มีอายุมากขึ้นแวคิวโอลเหล่านี้จะรวมเป็นถุงเดียวกันทำให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับความเต่งของเซลล์พืช ดังรูป 3.14



รูป 3.14 แวคิวโอล
ก. คอนแทร็กไทล์แวคิวโอล และฟูดแวคิวโอลที่พบในพารามีเซียม
ข. แซบแวคิวโอลพบในเซลล์พืช เช่น ใบประดับของดอกเฟื่องฟ้า

ไมโทคอนเดรีย (mitochondria) เป็นออร์แกเนลล์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.2-2 ไมโครเมตร มีรูปร่างหลายแบบขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์ เช่น เซลล์ต่อมหมวกไตมีไมโทคอนเดรียรูปทรงกลม เซลล์ตับมีไมโทคอนเดรียรูปร่างเป็นแท่งสั้น ส่วนเซลล์บุผิวลำไส้เล็กมีไมโทคอนเดรียรูปร่างค่อนข้างยาวอาจยาวถึง 2-7 ไมโครเมตร ไมโทคอนเดรียมีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น เยื่อชั้นนอกมีลักษณะเรียบ ส่วนเยื่อชั้นในจะพับทบแล้วยื่นเข้าไปด้านในเรียกว่า คริสตี (cristae) ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิว บริเวณนี้มีโปรตีนที่เกี่ยวกับการถ่ายทอดอิเล็กตรอนที่ได้จากการสลายสารอาหารและการสร้างสารพลังงานสูงในรูป ATP ที่บริเวณนี้ ภายในไมโทคอนเดรียมีของเหลวบรรจุอยู่เรียกว่า เมทริกซ์ (matrix) ซึ่งภายในมีเอนไซม์ที่เกี่ยวกับกระบวนการหายใจระดับเซลล์ ในไมโทคอนเดรียมี DNA และไรโบโซม ดังรูป 3.15

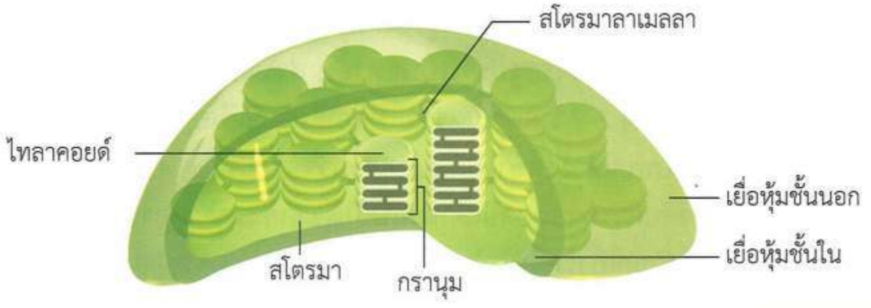


รูป 3.15 โครงสร้างของไมโทคอนเดรีย

? เซลล์กล้ามเนื้อหัวใจซึ่งเป็นเซลล์ที่ต้องใช้พลังงานมาก ควรมีออร์แกเนลล์ชนิดใดมาก เพราะเหตุใด

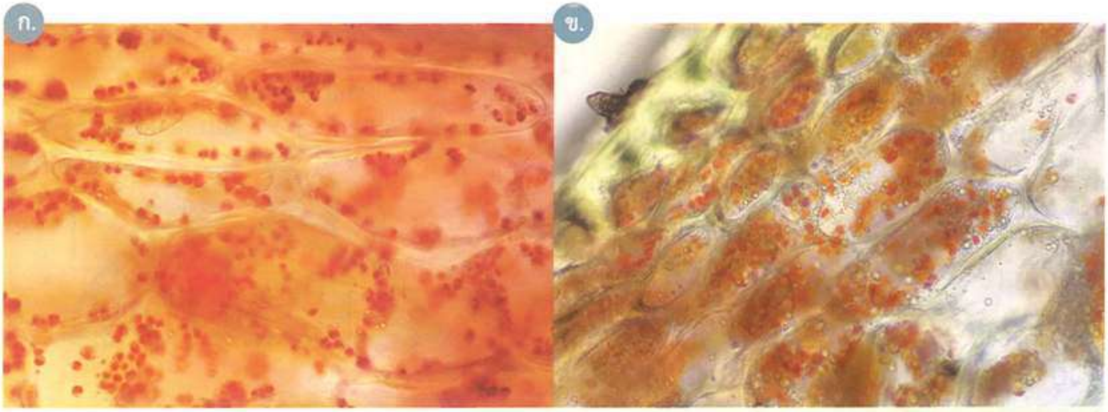
พลาสทิด (plastid) เป็นออร์แกเนลล์ที่มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น มี DNA และไรโบโซม พบในเซลล์พืชและโพรทิสต์บางชนิด พลาสทิดเป็นแหล่งสร้างสารอาหารและออกซิเจนให้กับสิ่งมีชีวิต มีสีต่าง ๆ กัน จึงแบ่งพลาสทิดเป็นชนิดต่าง ๆ ตามสีที่ปรากฏ

- คลอโรพลาสต์ (chloroplast) เป็นพลาสทิดที่มีสีเขียวเนื่องจากมีสารสีชนิดคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่จึงทำให้มีสีเขียว คลอโรพลาสต์ในพืชมีรูปร่างรี หรือรูปไข่ ความยาว 5-10 ไมโครเมตร ความกว้าง 2-4 ไมโครเมตร หนา 1 ไมโครเมตร ภายในมีเยื่อที่เป็นถุงแบนเรียกว่า **ไทลาคอยด์** (thylakoid) เรียงซ้อนกันเป็นแนวตั้งเรียกว่า กรานุม (granum) มีเยื่อเชื่อมต่อกันระหว่างกรานุม เรียกว่า **สโตรมาลาเมลลา** (stroma lamella หรือ intergrana lamella) ส่วนที่เป็นของเหลวของคลอโรพลาสต์ เรียกว่า **สโตรมา** (stroma) ซึ่งมีเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ คลอโรพลาสต์ทำหน้าที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์ด้วยแสง ดังรูป 3.16



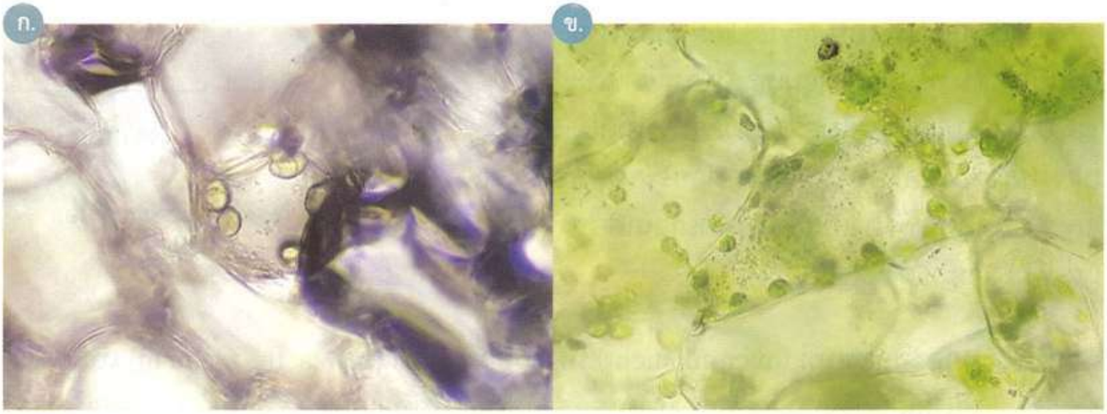
รูป 3.16 โครงสร้างของคลอโรพลาสต์

- โครโมพลาสต์ (chromoplast) เป็นพลาสทิดที่มีสีอื่น เช่น สีเหลือง สีส้ม สีแดง ดังรูป 3.17 เนื่องจากมีสารสีชนิดอื่น เช่น แคโรทีนอยด์ ทำให้ส่วนของพืชที่มีโครโมพลาสต์มีสี เช่น ใบหูกวาง ใบกระท้อน ที่เปลี่ยนเป็นสีแดง มะเขือเทศสุก พริกชี้ฟ้าสุก และมะม่วงสุก



รูป 3.17 โครโมพลาสต์
ก. พริกหวานสีแดง ข. พริกชี้ฟ้าสุก

- ลิวโคพลาสต์ (leucoplast) เป็นพลาสทิดที่ไม่มีสี อาจทำหน้าที่สะสมแป้ง หรือน้ำมัน ดังรูป 3.18



รูป 3.18 ลิวโคพลาสต์กับคลอโรพลาสต์ของต้นสาวน้อยประแป้ง
ก. ลิวโคพลาสต์ ข. คลอโรพลาสต์

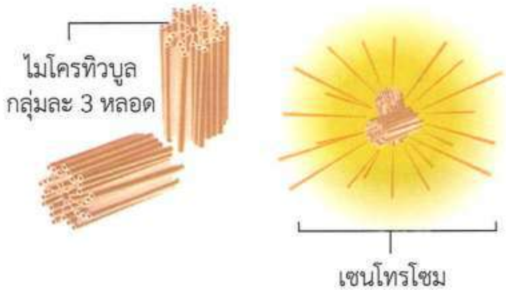
? ไมโทคอนเดรียและคลอโรพลาสต์มีความคล้ายกันอย่างไร ในแง่ของโครงสร้างและหน้าที่

เพอร็อกซิโซม (peroxisome) เป็นถุงที่มีเยื่อหุ้ม 1 ชั้น มีรูปร่างกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2-0.5 ไมโครเมตร ภายในบรรจุของเหลวที่ประกอบด้วยเอนไซม์ที่ใช้ในการสลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นสารพิษให้กลายเป็นออกซิเจนและน้ำ หรือรวบรวมสารที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาที่ให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเอนไซม์ต่าง ๆ ไว้ในเพอร็อกซิโซม เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดอันตรายกับเซลล์ ดังรูป 3.19



รูป 3.19 ลักษณะของเพอร็อกซิโซม

เซนทริโอล (centriole) เป็นออร์แกเนลล์ที่ไม่มีเยื่อหุ้ม อยู่ใกล้กับนิวเคลียส ประกอบด้วยไมโครทิวบูล เรียงกัน 9 กลุ่ม กลุ่มละ 3 หลอด เชื่อมกันเป็นแท่งทรงกระบอก เซนทริโอพบอยู่เป็นคู่วางตั้งฉากกัน เซนทริโอลถูกล้อมรอบด้วยโปรตีนเป็นบริเวณเรียกว่า เซนโทรโซม (centrosome) ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของเส้นใยสปินเดิล (spindle fiber) ที่ทำหน้าที่ช่วยให้โครโมโซมเคลื่อนออกจากกัน เซนทริโอลพบในเซลล์สัตว์และสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว ไม่พบในเซลล์พืชและเห็ดรา ดังรูป 3.20

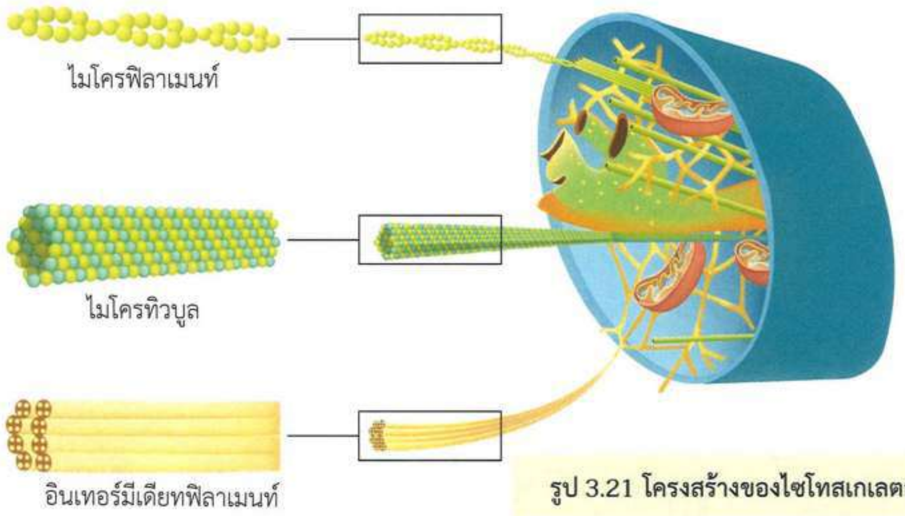


รูป 3.20 โครงสร้างของเซนทริโอลและเซนโทรโซม

ไซโทสเกเลตอน (cytoskeleton) เป็นเส้นใยโปรตีน ทำหน้าที่ค้ำจุนเซลล์ เป็นที่ยึดเกาะของออร์แกเนลล์ให้อยู่ในตำแหน่งต่าง ๆ ช่วยในการเคลื่อนที่ของออร์แกเนลล์ภายในเซลล์และการเคลื่อนที่ของเซลล์ ไซโทสเกลเลตอนแบ่งเป็น 3 ชนิด ดังนี้ (รูป 3.21)

- ไมโครฟิลาเมนท์ (microfilament) หรือ แอกทินฟิลาเมนท์ (actin filament) เป็นเส้นใยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นาโนเมตร เกิดจากโปรตีนแอกทิน ซึ่งเป็นก้อนต่อกันเป็นสายที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นาโนเมตร จำนวน 2 สาย พันบิดกันเป็นเกลียว ทำหน้าที่สำคัญในการหดตัวของเซลล์กล้ามเนื้อ การเคลื่อนที่ของอะมีบาและเซลล์เม็ดเลือดขาว การเปลี่ยนรูปร่างของเซลล์ เป็นต้น นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ค้ำจุนพบในไมโครวิลไลที่ผิวด้านบนของเซลล์บุผิว ช่วยแบ่งไซโทพลาซึมในการแบ่งเซลล์สัตว์ และช่วยให้เกิดการไหลเวียนของไซโทพลาซึม (cyclosis) ในเซลล์พืช เช่น ใบสาหร่ายหางกระรอก

- ไมโครทิวบูล (microtubule) เป็นหลอดกลวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 นาโนเมตร เกิดจากโปรตีนทิวบูลิน (tubulin) เรียงต่อกันเป็นหลอด เป็นโครงร่างภายในเซลล์ที่ทำหน้าที่ยึดและลำเลียงออร์แกเนลล์ เป็นโครงสร้างของเส้นใยสปินเดิล เป็นแกนของซิเลีย (cilia) และแฟลเจลลัม (flagellum) และช่วยในการเคลื่อนไหวของซิเลียและแฟลเจลลัม ทำให้สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวบางชนิดเคลื่อนที่ได้
- อินเทอร์มีเดียทฟิลาเมนท์ (intermediate filament) เป็นเส้นใยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8-12 นาโนเมตร ประกอบด้วยเส้นใยโปรตีนหน่วยย่อย 4 สาย จำนวน 8 ชุด พันบิดเป็นเกลียว เส้นใยนี้จัดเรียงตัวเป็นร่างแหตามลักษณะรูปร่างของเซลล์จึงเป็นโครงร่างค้ำจุนตลอดทั้งเซลล์ พบได้ที่โปรตีนเคอราทิน (keratin) ที่ผิวหนัง ขนและเล็บของสัตว์มีกระดูกสันหลัง



รูป 3.21 โครงสร้างของไซโทสเกเลตอน

ความรู้เพิ่มเติม

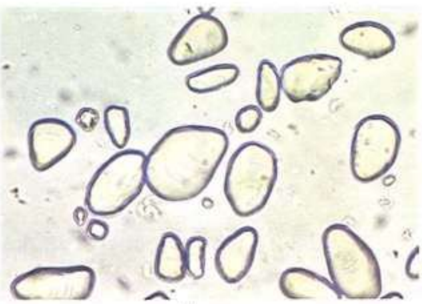
ซิเลียและแฟลเจลลามีโครงสร้างพื้นฐานที่เหมือนกัน ต่างกันที่ความยาว จำนวนที่พบต่อเซลล์ และลักษณะการเคลื่อนไหวของโครงสร้าง โครงสร้างพื้นฐานของซิเลียและแฟลเจลลาประกอบด้วยแกนที่เป็นไมโครทิวบูลด้านนอก 9 กลุ่ม กลุ่มละ 2 หลอด และไมโครทิวบูลตรงกลาง 2 หลอด ซึ่งเรียกรูปแบบการเรียงตัวแบบนี้ว่า “9+2” อีกส่วนหนึ่งที่เป็นฐานมีโครงสร้างคล้ายเซนทริโอล คือมีไมโครทิวบูลด้านนอก 9 กลุ่ม กลุ่มละ 3 หลอด และไม่มีไมโครทิวบูลตรงกลางเรียกรูปแบบการเรียงตัวแบบนี้ว่า “9+0”

ไซโทซอล

ไซโทซอลเป็นส่วนของไซโทพลาซึมที่มีลักษณะเป็นสารกึ่งแข็งกึ่งเหลว มีอยู่ประมาณร้อยละ 50-60 ของปริมาตรเซลล์ทั้งหมด เซลล์ส่วนใหญ่มักมีปริมาตรของไซโทซอลประมาณ 3 เท่าของนิวเคลียส ไซโทซอลที่อยู่ติดกับเยื่อหุ้มเซลล์ เรียกว่า เอ็กโทพลาซึม (ectoplasm) ไซโทซอลบริเวณด้านใน เรียกว่า เอนโดพลาซึม (endoplasm) ไซโทซอลเป็นที่อยู่ของออร์แกเนลล์ต่าง ๆ และโครงสร้างอื่น ๆ เช่น เม็ดไขมัน เม็ดสี ในเซลล์สัตว์ ergastic substance ในเซลล์พืช

ความรู้เพิ่มเติม

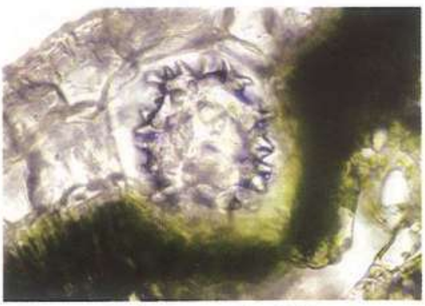
การใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบส่องดูเซลล์พืชนอกจากจะเห็นโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น นิวเคลียส คลอโรพลาสต์ และแวคิวโอล ยังมีองค์ประกอบอื่นที่สามารถมองเห็นได้ในเซลล์พืชคือ ergastic substance หรือ cell inclusion อันเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำงานของเซลล์พืชแล้วสะสมอยู่ในรูปของเม็ดแป้ง เช่น มันฝรั่ง กล้วย หยดน้ำมัน เช่น เมล็ดละหุ่ง เมล็ดปาล์ม เปลือกส้ม เปลือกมะกรูด และผลึก เช่น ใบชบา ใบกล้วยไม้ ใบบอน ใบไทร เป็นต้น ซึ่งจะแตกต่างกันไปในพืชแต่ละชนิด ดังตัวอย่างจากรูป



เม็ดแป้งที่พบในกล้วยดิบ



หยดน้ำมันของเปลือกมะกรูด



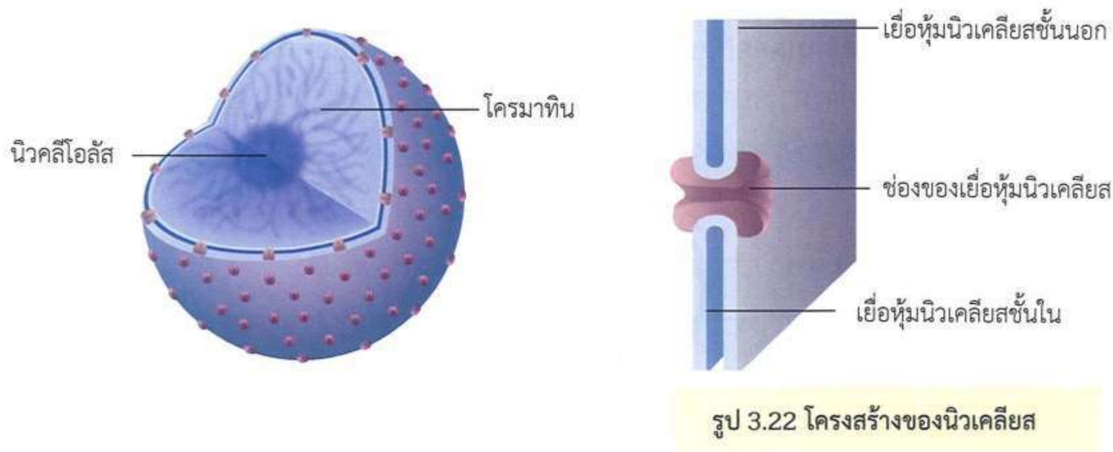
ผลึกที่พบในเซลล์ของใบไทร

3.2.3 นิวเคลียส

นิวเคลียส เป็นโครงสร้างที่เห็นได้ชัดเจนมีขนาดประมาณ 3-10 ไมโครเมตร พบได้ในสิ่งมีชีวิตยูแคริโอต โดยทั่วไปเซลล์ยูแคริโอตมักมี 1 นิวเคลียส รูปร่างกลม รี หรือยาว พบอยู่กลางเซลล์หรือค่อนไปทางด้านใดด้านหนึ่ง มีเยื่อหุ้ม 2 ชั้น นิวเคลียสเป็นศูนย์กลางควบคุมการทำงานของเซลล์ ซึ่งมีหน้าที่เกี่ยวกับการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม การแสดงออกของยีน การแบ่งเซลล์ และการควบคุมการสังเคราะห์โปรตีน

โครงสร้างของนิวเคลียสประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้ (รูป 3.22)

- **เยื่อหุ้มนิวเคลียส** (nuclear membrane หรือ nuclear envelope) เป็นเยื่อหุ้ม 2 ชั้น และมีช่องเล็ก ๆ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 นาโนเมตร ทะลุเยื่อทั้ง 2 ชั้น ซึ่งเป็นทางผ่านของสารระหว่างนิวเคลียสและไซโทพลาซึม
- **นิวคลีโอลัส** (nucleolus) เป็นโครงสร้างที่เห็นชัดเมื่อย้อมนิวเคลียสด้วยสีเฉพาะ ไม่มีเยื่อหุ้ม และจะสังเกตได้ชัดเจนในขณะที่เซลล์มีการสังเคราะห์โปรตีนมาก ประกอบด้วยโปรตีนและกรดนิวคลิอิกชนิด RNA เป็นส่วนใหญ่ และมี DNA ซึ่งเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ RNA รวมกับโปรตีนประกอบเป็นไรโบโซม
- **โครมาทิน** (chromatin) ประกอบด้วยโปรตีน และ DNA ที่ขดพันกันไปมาในนิวเคลียส ขณะแบ่งเซลล์โครมาทินจะขดตัวแน่นทำให้หนาและสั้นลงจนเห็นเป็นแท่งโครโมโซม (chromosome) โดย DNA จะทำหน้าที่ควบคุมการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม



รูป 3.22 โครงสร้างของนิวเคลียส

สำหรับสิ่งมีชีวิตโพรแคริโอตที่ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส เช่น แบคทีเรีย DNA จะอยู่ในไซโทพลาซึม เรียกบริเวณนี้ว่า **นิวคลีออยด์** (nucleoid)

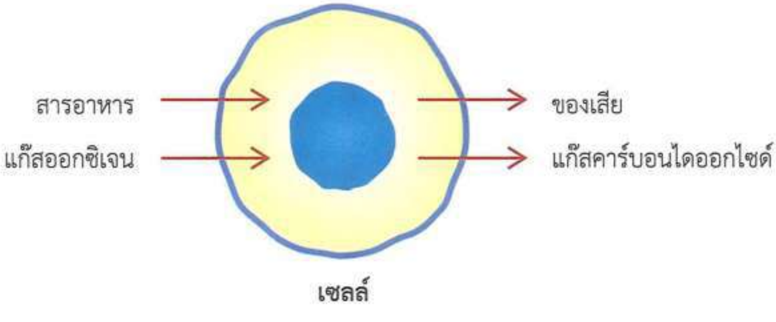
ตรวจสอบความเข้าใจ

? เพราะเหตุใดนิวเคลียสจึงเป็นศูนย์กลางควบคุมการทำงานของเซลล์

แม้ว่าโครงสร้างต่าง ๆ ทั้งส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์ ออร์แกเนลล์ในไซโทพลาซึม และนิวเคลียส จะมีโครงสร้างและหน้าที่เฉพาะ แต่สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างเป็นระบบเพื่อทำให้เซลล์มีชีวิตและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การทำงานร่วมกันของออร์แกเนลล์ภายในเซลล์ตับเพื่อสร้างโปรตีนหลั่งออกภายนอก โดยเริ่มจากนิวคลีโอลัสภายในนิวเคลียสทำหน้าที่สร้าง RNA รวมกับโปรตีน ประกอบกันเป็นไรโบโซม จากนั้นไรโบโซมบางส่วนจะสังเคราะห์โปรตีนแล้วไปเกาะติดกับเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมเพื่อส่งผ่านโปรตีนนี้ไปยังกอลจิคอมเพล็กซ์ซึ่งทำให้เข้มข้นแล้วหลุดออกมาเป็นเวสิเคิล ไมโครทิวบูลจะทำหน้าที่นำเวสิเคิลไปสู่เยื่อหุ้มเซลล์เพื่อหลั่งโปรตีนออกสู่ภายนอกเซลล์ซึ่งจัดเป็นการลำเลียงสารออกจากเซลล์รูปแบบหนึ่ง โดยกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ต้องใช้พลังงานที่ได้จากการสลายสารอาหารภายในไซโทพลาซึมและไมโทคอนเดรีย **นอกจากการลำเลียงสารในรูปแบบข้างต้นยังมีการลำเลียงสารแบบใดอีกและมีประโยชน์ต่อเซลล์อย่างไร**

3.3 การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์

เซลล์จะดำรงชีวิตอยู่ได้จะต้องมีการนำสารต่าง ๆ เข้าและออกจากเซลล์ เช่น สารอาหารและแก๊สออกซิเจนที่ลำเลียงเข้าสู่เซลล์เพื่อใช้ในการหายใจระดับเซลล์ทำให้ได้พลังงานไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ รวมทั้งแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ได้จากการหายใจและของเสียที่ลำเลียงออกจากเซลล์เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานต่าง ๆ ของเซลล์ (รูป 3.23)

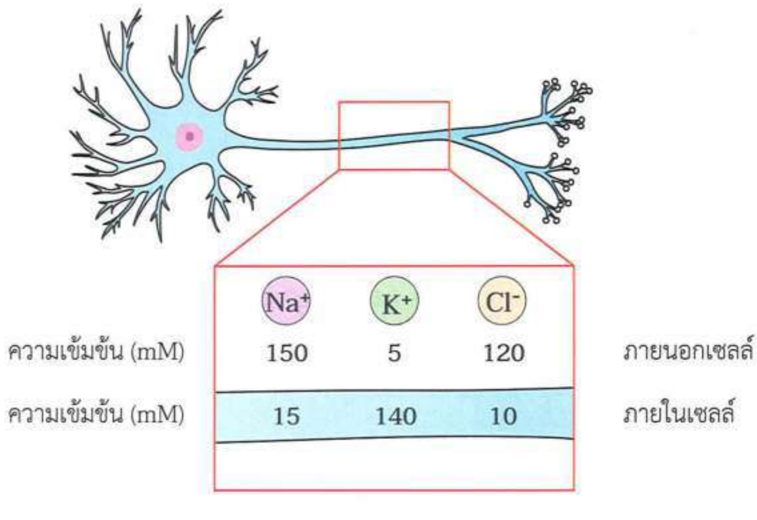


รูป 3.23 การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์

เชื่อมโยงกับสุขภาพ

อหิวาตกโรคเป็นโรคติดเชื้อระบบทางเดินอาหารเฉียบพลันที่เกิดจากแบคทีเรีย เช่น *Vibrio cholerae* สารพิษจากแบคทีเรียนี้จะทำให้มีการลำเลียงไอออนชนิดต่าง ๆ และน้ำจำนวนมากออกจากเซลล์เข้าสู่ลำไส้เล็ก ผู้ป่วยจึงถ่ายเป็นน้ำจำนวนมาก การเสียดุลยภาพของน้ำและไอออนนี้ส่งผลให้มีอาการขาดน้ำอย่างรวดเร็วและรุนแรง ซึ่งถ้าไม่ได้รับการรักษาทันเวลาจะมีโอกาสเสียชีวิตสูง

นอกจากการควบคุมชนิดของสารที่ผ่านเข้าและออกจากเซลล์แล้ว เซลล์ยังสามารถควบคุมปริมาณสารที่ผ่านเข้าออกได้ด้วย ทำให้ความเข้มข้นของสารชนิดต่าง ๆ แตกต่างกันระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ เช่น ในกรณีของไอออนภายในและภายนอกเซลล์ประสาทที่มีความสำคัญต่อการเกิดและการส่งกระแสประสาท ซึ่งเป็นกระบวนการสำคัญในการรับรู้และตอบสนองต่อสิ่งเร้าของร่างกาย (รูป 3.24)



รูป 3.24 ความเข้มข้นของไอออนภายในและภายนอกเซลล์ประสาทของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม

จากการศึกษาในหัวข้อที่ 3.2 เยื่อหุ้มเซลล์ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านในการลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ **สมบัติขององค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์สัมพันธ์กับการเป็นเยื่อเลือกผ่านอย่างไร** นักเรียนจะได้ศึกษาจากกิจกรรม 3.2

กิจกรรม 3.2 สมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์

จุดประสงค์

1. ทำกิจกรรมเพื่อศึกษาสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์
2. วิเคราะห์ผลจากการทำกิจกรรม และสรุปสมบัติการเป็นเยื่อเลือกผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์

วัสดุและอุปกรณ์

1. ตัวอย่างสิ่งมีชีวิต เช่น แหนที่มีรากติดอยู่ สไปโรไจรา สาหร่ายเซลล์เดียว ยีสต์
2. สีนิวทรัลเรด (neutral red) 0.5%
3. สีผสมอาหารสีแดง
4. น้ำกลั่น
5. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ
6. สไลด์พร้อมกระจกปิดสไลด์
7. เข็มเขี่ย
8. หลอดหยด
9. พู่กัน
10. จานเพาะเชื้อ

ข้อควรระวัง
เนื่องจากสีนิวทรัลเรดเป็นพิษต่อเซลล์ ถ้าแช่ไว้นานหรือแช่ในสารละลายสีที่มีความเข้มข้นมากจะทำให้เซลล์ตายได้

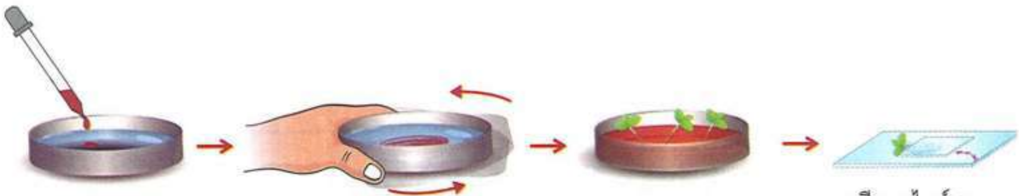
วิธีการทำกิจกรรม

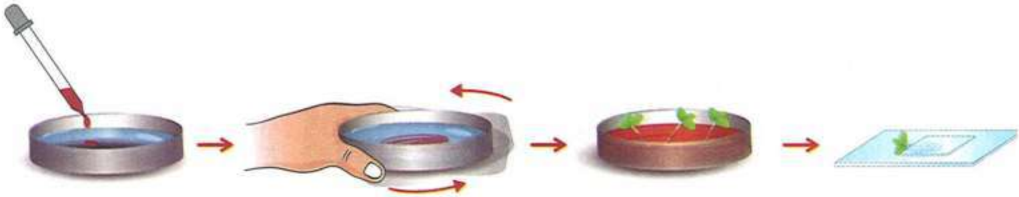
1. เตรียมสไลด์สดของตัวอย่างสิ่งมีชีวิต และศึกษาสไลด์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ สังเกตลักษณะภายในเซลล์ที่เลือกมาศึกษา เช่น รากแหน บันทึกลักษณะของเซลล์ที่สังเกตได้



หยดน้ำ 1-2 หยดบนสไลด์ นำแหนมาวางให้รากอยู่บนหยดน้ำ ปิดส่วนรากด้วยกระจกปิดสไลด์

2. เตรียมสารละลายสีโดยใส่น้ำกลั่นประมาณ 15 มิลลิลิตร ในจานเพาะเชื้อแต่ละจาน จำนวน 2 จาน หยดสีนิวทรัลเรด 1 หยด ลงในจานที่ 1 และหยดสีผสมอาหาร 1 หยด ลงในจานที่ 2 วนจานเพาะเชื้อไปมาให้สีกระจายทั่ว
3. นำตัวอย่างสิ่งมีชีวิตมาแช่ในสารละลายสีที่เตรียมไว้ ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที
4. เตรียมสไลด์สด ศึกษาลักษณะภายในเซลล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ บันทึกลักษณะของเซลล์ที่สังเกตได้และเปรียบเทียบกับผลที่ได้ในข้อ 1

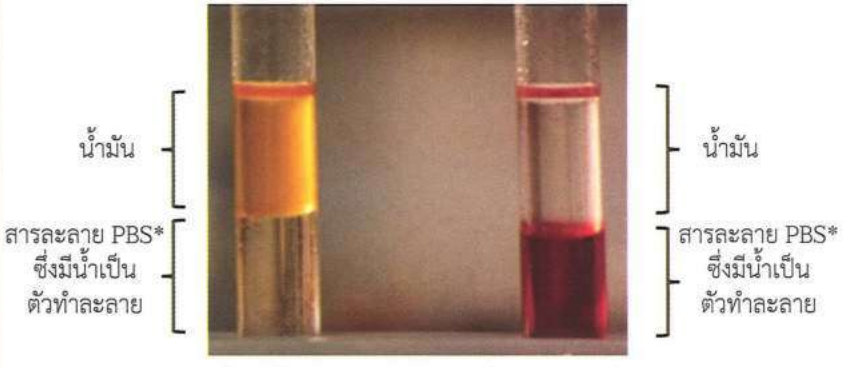




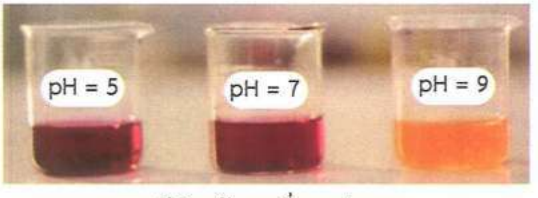
คำถามท้ายกิจกรรม

? หลังการแช่สี ลักษณะภายในเซลล์เปลี่ยนไปหรือไม่ อย่างไร และผลที่ได้ระหว่างสีทั้งสองชนิดเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

? ถ้าทดสอบความสามารถในการละลายของสีทั้งสองโดยนำสารละลายสีประมาณ 2 มิลลิลิตร และใส่น้ำมันลงไป 2 มิลลิลิตร จากนั้นเขย่าและทิ้งไว้ 15 นาที สังเกตได้ผลดังภาพด้านล่าง จากผลที่ได้ในกิจกรรมและการทดสอบสมบัติการละลายของสีดังกล่าว สามารถสรุปถึงความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติการละลายของสารและความสามารถในการลำเลียงผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้อย่างไร



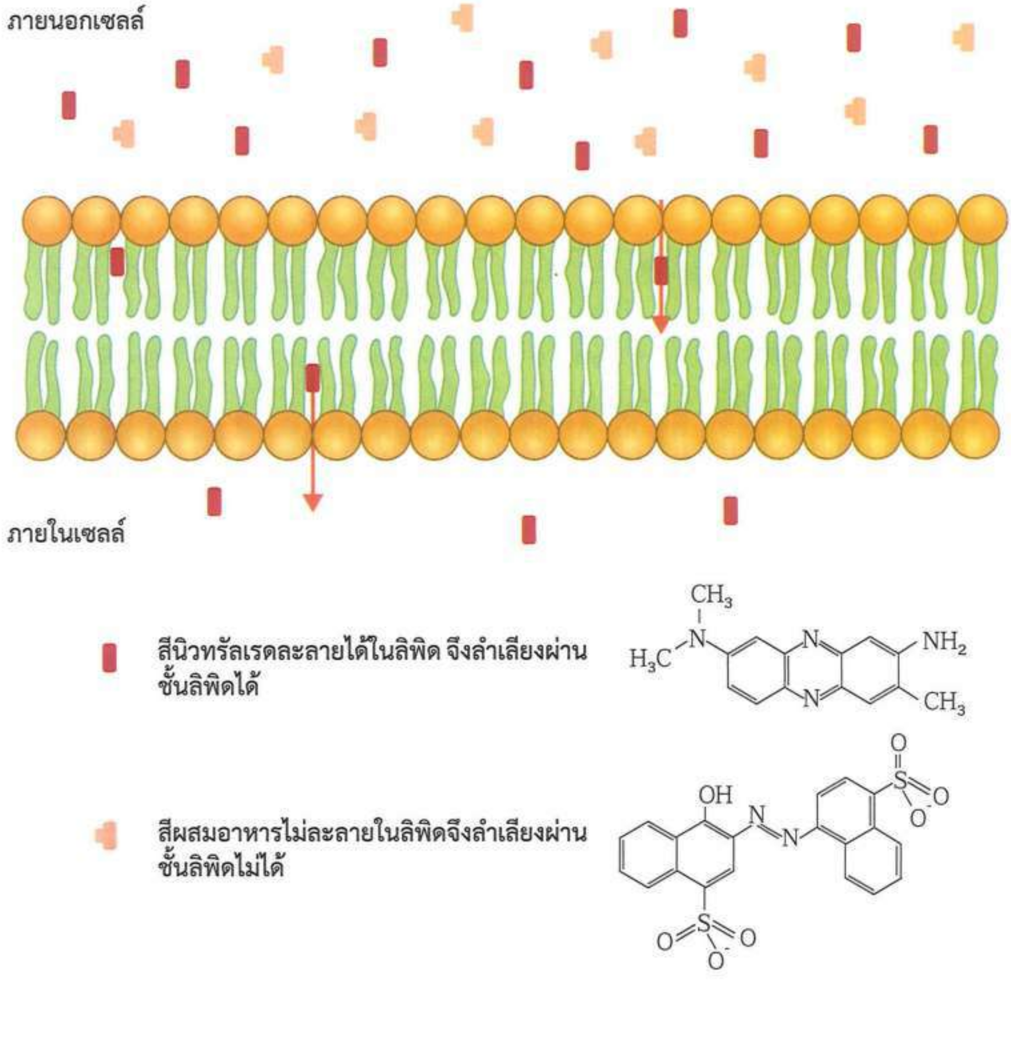
สีนิวทรัลเรด **สีผสมอาหารสีแดง**



สีนิวทรัลเรดที่ pH ต่าง ๆ

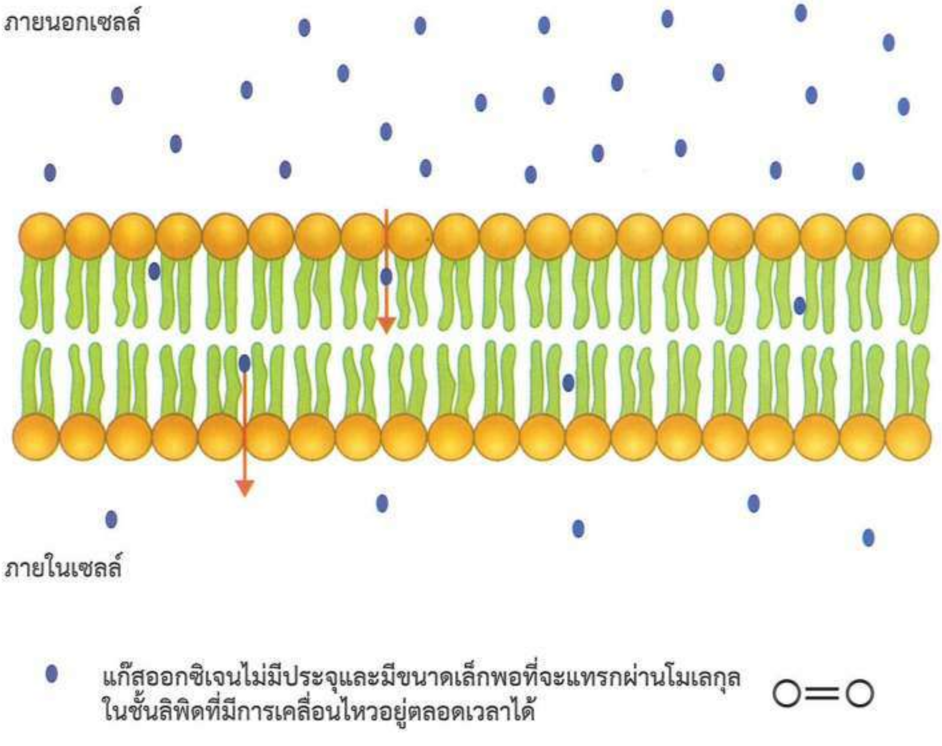
(*สารละลาย PBS (Phosphate Buffered Saline) ประกอบด้วยเกลือประเภทต่าง ๆ ละลายในน้ำกลั่น ในการทดสอบนี้ใช้สารละลาย PBS ที่มีค่า pH ประมาณ 7.4)

จากกิจกรรม 3.2 จะเห็นได้ว่าสีที่ละลายได้ในลิพิดจะลำเลียงเข้าสู่เซลล์ได้ แต่สีที่ไม่ละลายในลิพิดจะไม่สามารถลำเลียงเข้าสู่เซลล์ และเมื่อพิจารณาถึงโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ซึ่งประกอบด้วยชั้นลิพิด จะเห็นได้ว่ามีสมบัติสอดคล้องกับการที่เซลล์ลำเลียงสีที่ละลายในลิพิดเข้าสู่เซลล์ได้ (รูป 3.25)



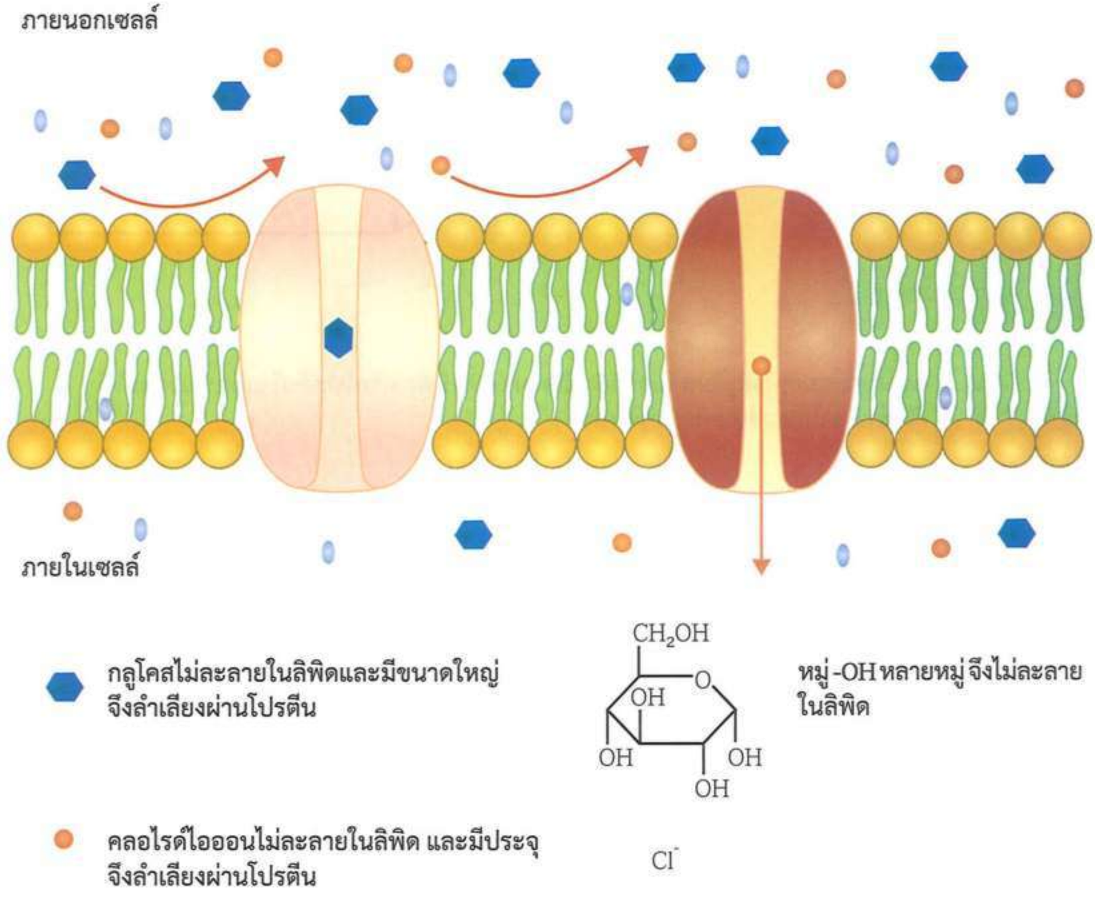
รูป 3.25 การลำเลียงสีนิวทรัลเรดผ่านชั้นลิพิดของเยื่อหุ้มเซลล์ ส่วนสีผสมอาหารไม่สามารถผ่านได้

นอกจากนี้สารขนาดเล็กบางชนิดที่ไม่ละลายในลิพิดยังสามารถแทรกผ่านระหว่างโมเลกุลในชั้นลิพิดที่มีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลาได้ เช่น แก๊สออกซิเจน ซึ่งไม่มีประจุและมีขนาดเล็กพอจึงแทรกผ่านระหว่างโมเลกุลของฟอสโฟลิพิดได้ (รูป 3.26)



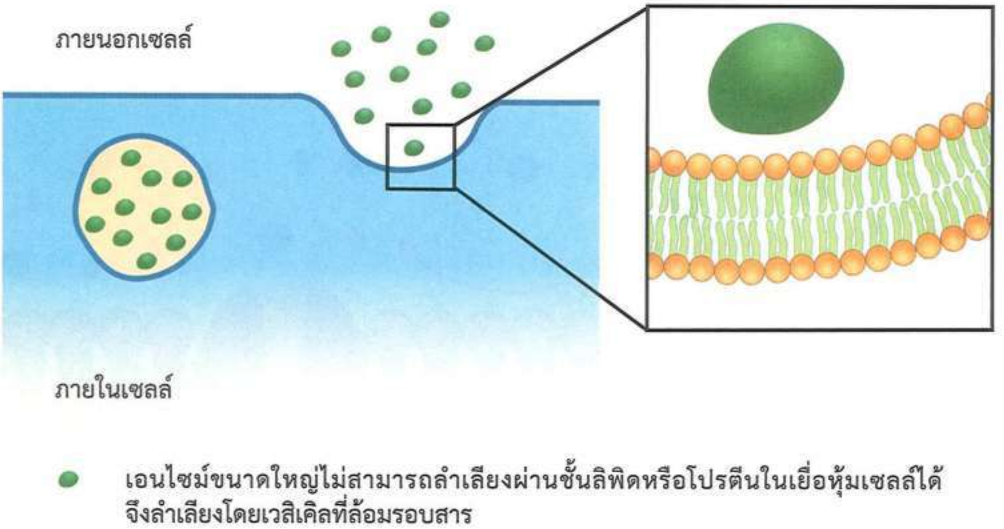
รูป 3.26 การลำเลียงแก๊สออกซิเจนผ่านชั้นลิพิดของเยื่อหุ้มเซลล์

เซลล์ยังต้องมีการลำเลียงสารอื่นที่ไม่สามารถผ่านชั้นลิพิดได้ โดยเซลล์จะมีกลไกการลำเลียงด้วยวิธีอื่น วิธีหนึ่ง คือ การลำเลียงสารผ่านโปรตีนในเยื่อหุ้มเซลล์ เช่น กลูโคสซึ่งไม่ละลายในลิพิดและมีขนาดใหญ่เกินกว่าจะแทรกผ่านระหว่างโมเลกุลของฟอสโฟลิพิด หรือคลอไรด์ไอออน (Cl^-) ซึ่งมีประจุจึงมีความชอบน้ำสูงเกินกว่าที่จะผ่านชั้นลิพิดได้ (รูป 3.27)



รูป 3.27 การลำเลียงกลูโคสและคลอไรด์ไอออนผ่านโปรตีนที่เยื่อหุ้มเซลล์

ส่วนสารที่มีขนาดใหญ่มาก เช่น เอนไซม์ จะไม่สามารถลำเลียงผ่านชั้นลิพิดหรือโปรตีนในเยื่อหุ้มเซลล์ได้ ซึ่งบางชนิดจะลำเลียงเข้าหรือออกจากเซลล์ได้โดยเวสิเคิลที่ล้อมรอบสาร (รูป 3.28)



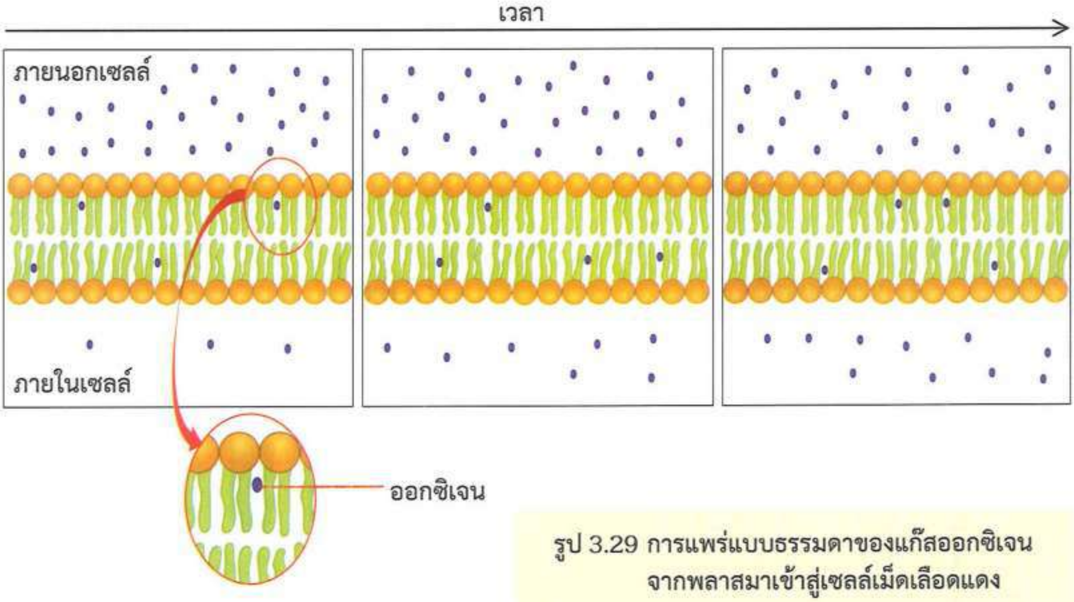
รูป 3.28 การลำเลียงเอนไซม์โดยเวสิเคิล

จากกรณีข้างต้น จะเห็นได้ว่าเซลล์ลำเลียงสารบางชนิดผ่านชั้นลิพิด บางชนิดผ่านโปรตีน และบางชนิดใช้เวสิเคิล ซึ่งสมบัติของสารและองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์มีความสัมพันธ์กับวิธีการลำเลียงสารเข้าและออกเซลล์ **การลำเลียงสารต่างวิธีเหล่านี้มีกลไกอย่างไร**

กลไกการลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์

การแพร่แบบธรรมดา

การลำเลียงสารผ่านชั้นลิพิดของเยื่อหุ้มเซลล์ที่กล่าวข้างต้นจัดเป็น**การแพร่แบบธรรมดา** (simple diffusion) ซึ่งรวมถึงสารที่ละลายได้ดีในลิพิด เช่น กรดไขมัน วิตามิน A D E และ K และสารขนาดเล็กอื่น ๆ ที่ไม่มีประจุ เช่น แก๊สออกซิเจน แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (รูป 3.29) แสดงถึงกลไกการแพร่แบบธรรมดาซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของโมเลกุลสารและการเคลื่อนไหวของฟอสโฟลิพิดในชั้นลิพิดที่ทำให้เกิดช่องที่โมเลกุลสารสามารถแทรกผ่านได้ โดยมีทิศทางการลำเลียงจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารต่ำ



รูป 3.29 การแพร่แบบธรรมดาของแก๊สออกซิเจนจากพลาสมาเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดง

ออสโมซิส

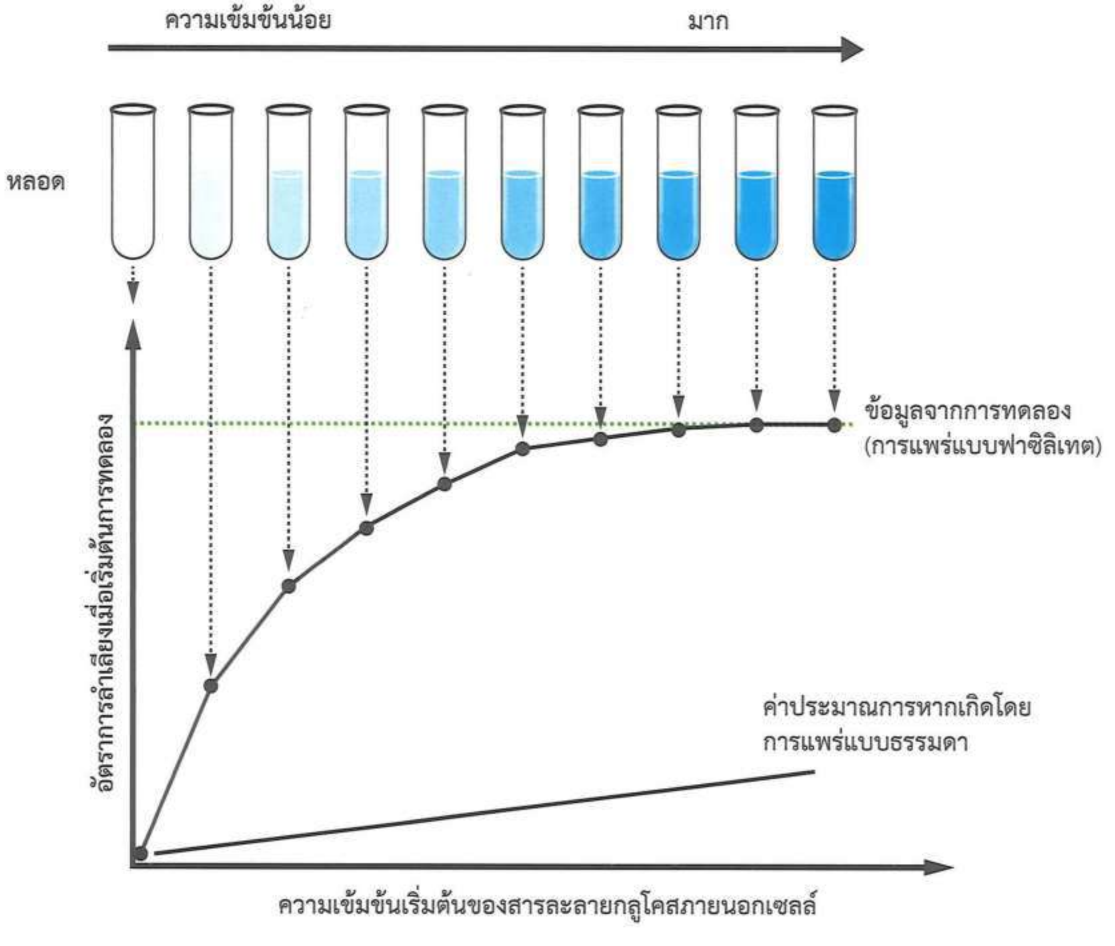
โมเลกุลของน้ำสามารถแพร่ผ่านชั้นลิพิดของเยื่อหุ้มเซลล์ได้ ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า **ออสโมซิส** (osmosis) เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลาย การแพร่ของน้ำจะเกิดจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารละลายต่ำผ่านเยื่อเลือกผ่านไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารละลายสูง

เชื่อมโยงกับสุขภาพ

น้ำเกลือที่ให้กับผู้ป่วยทางหลอดเลือดมีความเข้มข้นเทียบเท่ากับความเข้มข้นของสารในเลือดและภายในเซลล์ ทำให้เซลล์ไม่เสียดุลยภาพ

การแพร่แบบฟาซิลิเทต

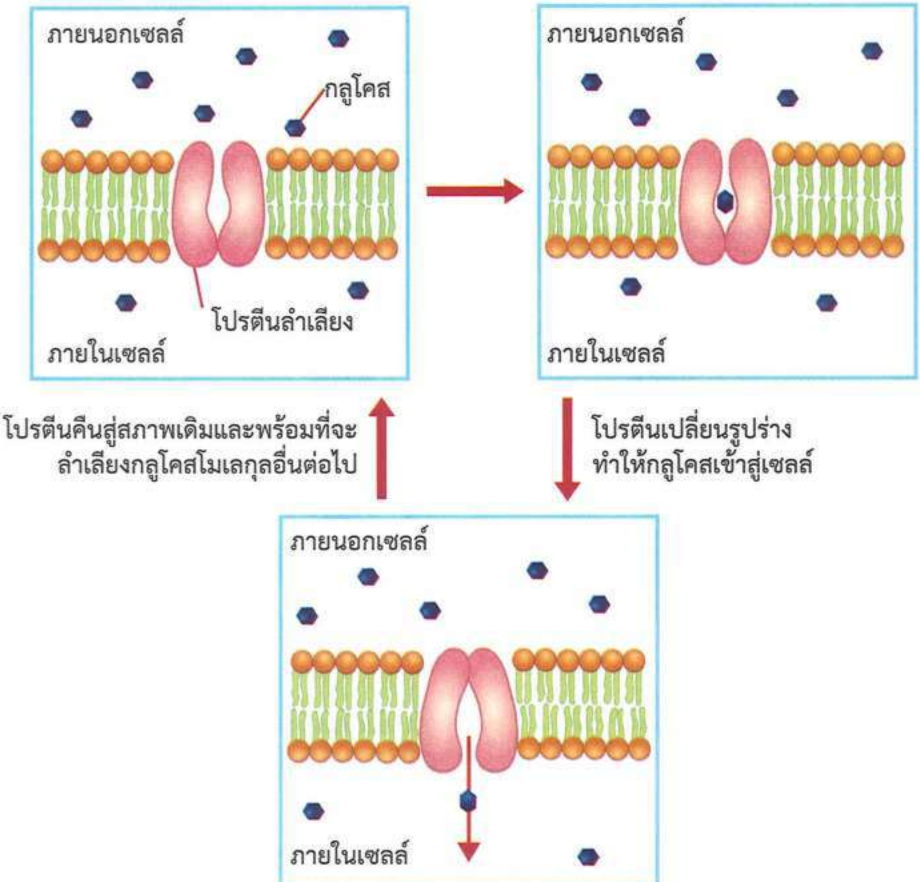
ในการทดลองเพื่อวัดอัตราการลำเลียงกลูโคสเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดงโดยเลี้ยงเซลล์เม็ดเลือดแดงในสารละลายกลูโคสที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 10 ความเข้มข้น พบว่าอัตราการลำเลียงที่วัดได้ต่างจากค่าประมาณการหากเกิดการลำเลียงโดยการแพร่แบบธรรมดา (รูป 3.30) การลำเลียงกลูโคสเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดงนี้มีกลไกเป็นอย่างไร



รูป 3.30 อัตราการลำเลียงกลูโคสเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดงที่วัดได้จากการทดลอง (การแพร่แบบฟาซิลิเทต) และค่าประมาณการหากเกิดโดยการแพร่แบบธรรมดา

การลำเลียงกลูโคสเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดงจัดเป็น**การแพร่แบบฟาซิลิเทต** (facilitated diffusion) โดยเกิดผ่านโปรตีนและมีทิศทางการลำเลียงจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารต่ำ เมื่อพิจารณาอัตราการลำเลียงกลูโคสเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดงที่ความเข้มข้นเริ่มต้นเดียวกัน (รูป 3.30) พบว่าการแพร่แบบฟาซิลิเทตของกลูโคสเกิดขึ้นได้เร็วกว่าค่าประมาณการหากเกิดโดยการแพร่แบบธรรมดามาก ทั้งนี้ เนื่องจากการแพร่แบบฟาซิลิเทตเกิดผ่านโปรตีนซึ่งมีความจำเพาะต่อสารจึงเกิดได้เร็วกว่า

สำหรับกลไกการลำเลียงกลูโคสเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดง (รูป 3.31) กลูโคสจะจับกับโปรตีนลำเลียง (transport protein) ที่มีความจำเพาะกับกลูโคส ซึ่งการจับดังกล่าวจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของโปรตีนลำเลียงที่ทำให้โมเลกุลของกลูโคสที่จับเคลื่อนเข้าสู่เซลล์ได้ ตัวอย่างสารชนิดอื่นที่ลำเลียงด้วยวิธีนี้ เช่น กรดแอมิโน และไอออนชนิดต่าง ๆ



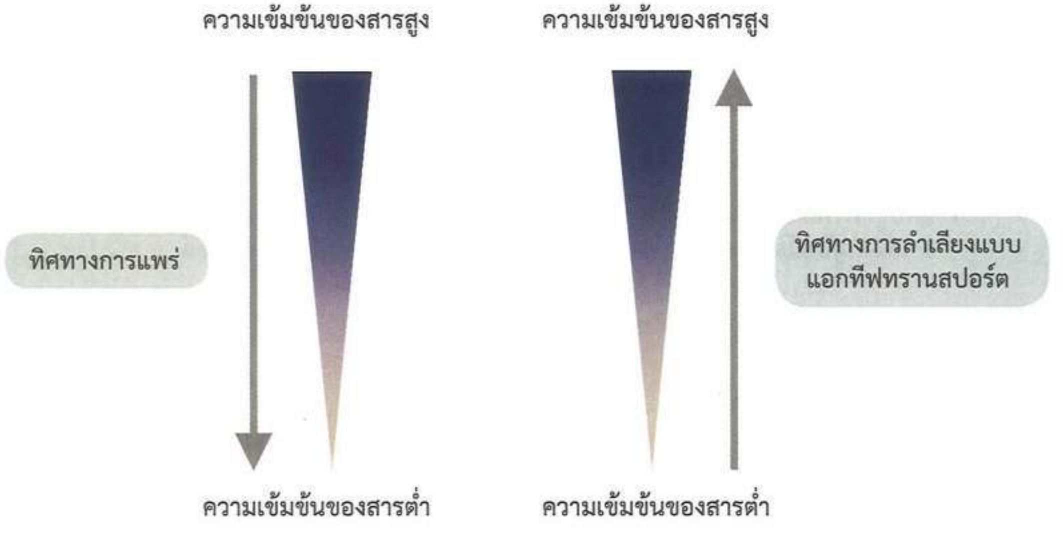
รูป 3.31 การลำเลียงกลูโคสเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดงโดยการแพร่แบบฟาซิลิเทต

? จากรูป 3.30 เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของกลูโคสภายนอกเซลล์สูงขึ้นมาก เพราะเหตุใดอัตราการลำเลียงกลูโคสจึงมีแนวโน้มที่จะมีค่าคงที่ในที่สุด

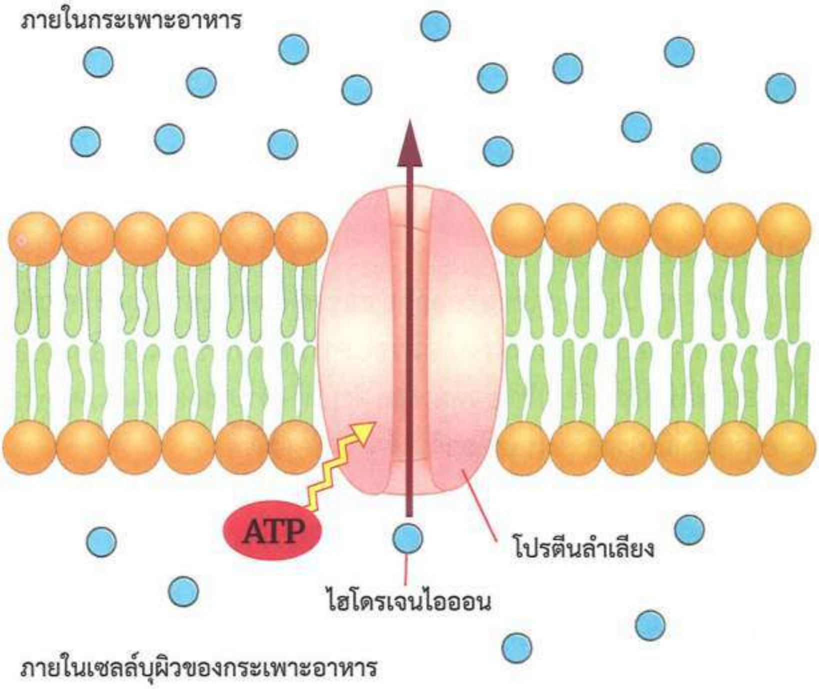
? การที่โปรตีนลำเลียงในเยื่อหุ้มเซลล์มีความจำเพาะกับชนิดของสารที่ลำเลียงมีประโยชน์ต่อเซลล์อย่างไร

แอกทีฟทรานสปอร์ต

การลำเลียงสารเข้าหรือออกจากเซลล์โดยการแพร่แบบธรรมดาหรือการแพร่แบบฟาซิลิเทต เกิดจากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารต่ำ แต่ในบางกรณีเซลล์สามารถลำเลียงสารจากบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารสูงได้ (รูป 3.32) ซึ่งการลำเลียงดังกล่าวใช้พลังงานจากภายในเซลล์ เช่น จากการสลายพันธะของ ATP เรียกการลำเลียงแบบนี้ว่า**แอกทีฟทรานสปอร์ต** (active transport) ซึ่งเกิดผ่านโปรตีนที่มีความจำเพาะ เช่นในกรณีของการหลั่งไฮโดรเจนไอออนจากเซลล์บุผิวของกระเพาะอาหารเข้าสู่กระเพาะอาหาร (รูป 3.33) ที่ทำให้ภายในกระเพาะอาหาร (pH ประมาณ 2) มีความเป็นกรดสูงกว่าภายในเซลล์มาก (pH ประมาณ 7)



รูป 3.32 ทิศทางการลำเลียงสารในกรณีของการแพร่และแอกทีฟทรานสปอร์ต



รูป 3.33 การหลั่งไฮโดรเจนไอออนจากเซลล์บุผิวของกระเพาะอาหารเข้าสู่กระเพาะอาหาร โดยแอกทีฟทรานสปอร์ต

เชื่อมโยงกับสุขภาพ

ยาลดกรดบางประเภทจะยับยั้งการหลั่งไฮโดรเจนไอออนเข้าสู่กระเพาะอาหารโดยจับกับโปรตีนที่ลำเลียงไฮโดรเจนไอออน ทำให้ไม่สามารถลำเลียงได้ตามปกติ ปริมาณกรดที่หลั่งสู่กระเพาะอาหารจึงลดลง ทำให้ช่วยลดการทำลายเยื่อบุภายในของกระเพาะอาหาร

อีกตัวอย่างหนึ่งของแอกทีฟทรานสปอร์ต คือ กรณีการรักษาความเข้มข้นของโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออนภายในเซลล์ประสาทที่กล่าวถึง (รูป 3.24) และเซลล์ทั่วไป ซึ่งจะได้ศึกษาต่อไปในเรื่องระบบประสาท

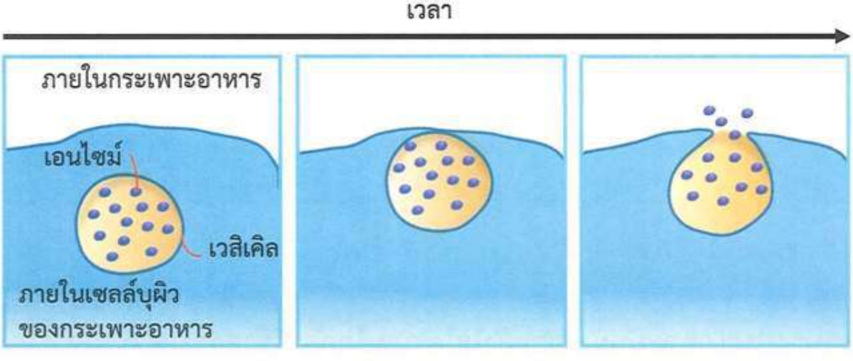
ตรวจสอบความเข้าใจ

? การแพร่แบบธรรมดา การแพร่แบบฟาซิลิเทต และแอกทีฟทรานสปอร์ตเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร

การลำเลียงสารโดยการสร้างเวสิเคิล

เซลล์สามารถนำสารขนาดใหญ่เข้าหรือออกจากเซลล์โดยการสร้างถุงหรือเวสิเคิล (vesicle) จากเยื่อหุ้มเซลล์หรือเยื่อหุ้มออร์แกเนลล์เพื่อล้อมรอบสารที่ต้องการลำเลียง โดยเยื่อหุ้มดังกล่าวมีโครงสร้างเป็นชั้นฟอสโฟลิพิดเช่นเดียวกับเยื่อหุ้มเซลล์ ดังนั้นจึงสามารถคอดและหลุดออกเป็นเวสิเคิลหรือรวมตัวกับเยื่อหุ้มอื่นที่มีโครงสร้างเช่นเดียวกันได้

การลำเลียงสารออกจากเซลล์โดยการสร้างเวสิเคิล เรียกว่า **เอกโซไซโทซิส** (exocytosis) เช่น การหลั่งน้ำลาย การหลั่งเอนไซม์จากเซลล์ตับอ่อนเข้าสู่ท่อเพื่อส่งไปลำไส้เล็ก การหลั่งเอนไซม์จากเซลล์บุผิวของกระเพาะอาหารเข้าสู่กระเพาะอาหาร ซึ่งเวสิเคิลที่มีสารอยู่ภายในเคลื่อนมาสู่ผิวเซลล์และเยื่อหุ้มเวสิเคิลเชื่อมรวมกับเยื่อหุ้มเซลล์ (รูป 3.34)

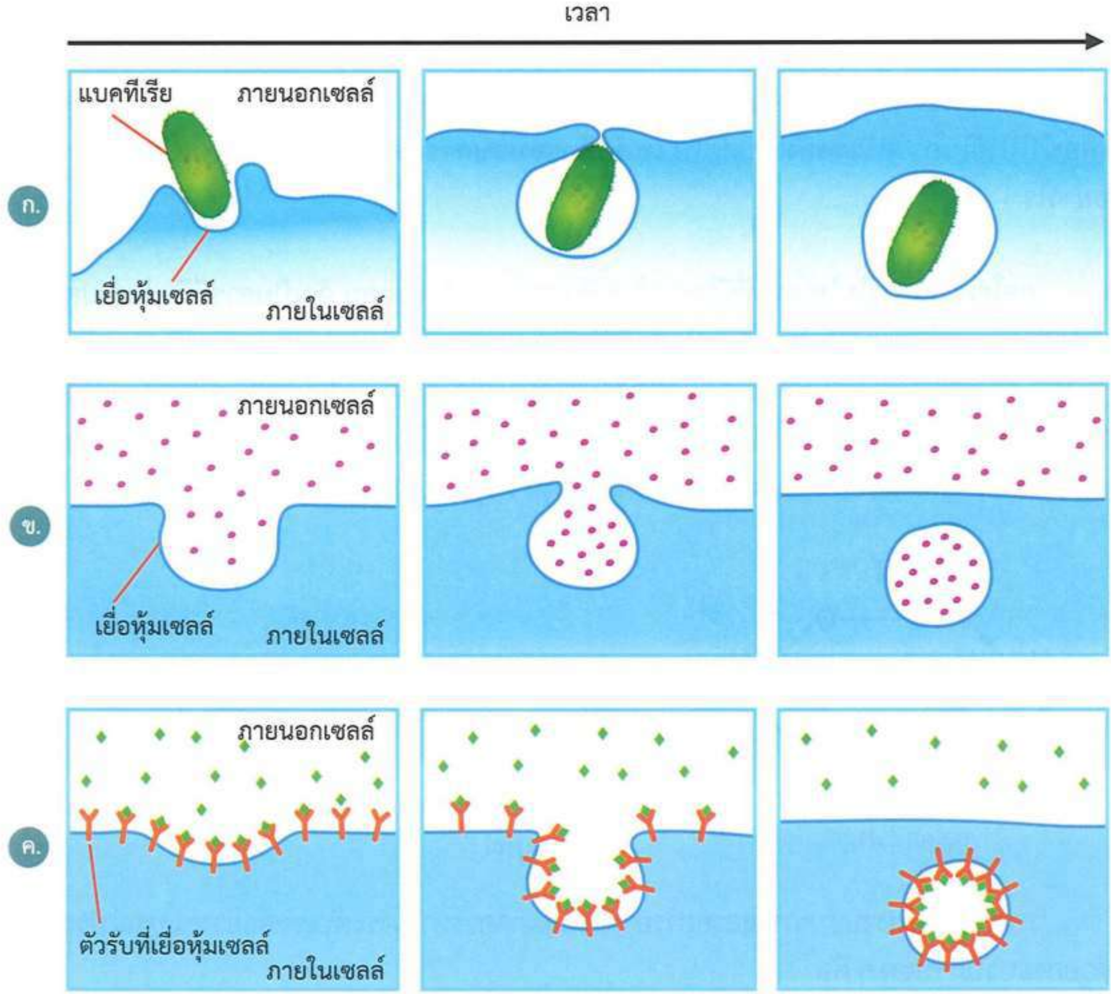


รูป 3.34 การหลั่งเอนไซม์ที่ใช้ในการย่อยอาหารจากเซลล์บุผิวของกระเพาะอาหารเข้าสู่กระเพาะอาหารโดยเอกโซไซโทซิส

สำหรับการลำเลียงสารเข้าสู่เซลล์โดยการสร้างเวสิเคิล เรียกว่า **เอนโดไซโทซิส** (endocytosis) ซึ่งมีหลายประเภท (รูป 3.35) **ฟาโกไซโทซิส** (phagocytosis) เป็นการลำเลียงสารขนาดใหญ่ที่ไม่ละลายน้ำ โดยส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์ยื่นไปโอบล้อมสาร สร้างเป็นถุงล้อมรอบก่อนนำเข้าสู่เซลล์ เช่น การนำเชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดขาวกลุ่มฟาโกไซต์เพื่อทำลายต่อไป

นอกจากสารขนาดใหญ่แล้ว ในบางกรณีเซลล์ลำเลียงสารในรูปของเหลวโดยการสร้างเวสิเคิล เรียกว่า **พิโนไซโทซิส** (pinocytosis) ซึ่งส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์จะคอดเว้าเกิดเป็นเวสิเคิลล้อมรอบ ตัวอย่างเช่น การนำของเหลวนอกเซลล์กลับเข้าสู่เซลล์

เอนโดไซโทซิสอีกประเภทเป็น**การนำสารเข้าสู่เซลล์โดยอาศัยตัวรับ** (receptor-mediated endocytosis) ซึ่งสารจะจับกับตัวรับจำเพาะบนผิวนอกของเยื่อหุ้มเซลล์ และเกิดเป็นเวสิเคิลนำเข้าสู่เซลล์ เช่น การนำฮอร์โมนบางชนิดเข้าสู่เซลล์ การนำ LDL เข้าสู่เซลล์ต่าง ๆ การนำ HDL เข้าสู่เซลล์ตับ



รูป 3.35 เอนโดไซโทซิสประเภทต่าง ๆ
ก. ฟาโกไซโทซิส ข. พิโนไซโทซิส ค. การนำสารเข้าสู่เซลล์โดยอาศัยตัวรับ

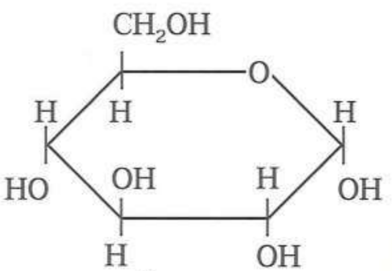
3.4 การหายใจระดับเซลล์

การหายใจระดับเซลล์ (cellular respiration) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเพื่อสร้างพลังงานสำหรับนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ของเซลล์ ที่ส่งผลต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต พลังงานที่เซลล์ต้องการชนิดหนึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบพลังงานสูงที่เรียกว่า ATP (adenosine triphosphate) ซึ่งได้จากการสลายสารอาหาร ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และลิพิด จากอาหารที่ร่างกายได้รับ

3.4.1 การหายใจระดับเซลล์ในภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอ

คาร์โบไฮเดรตเป็นสารอาหารหลักที่เซลล์สามารถนำไปใช้ในการสร้างพลังงาน โดยคาร์โบไฮเดรตจะผ่านการย่อยจนกลายเป็นมอโนแซ็กคาไรด์ เช่น กลูโคส ซึ่งจะมีการลำเลียงเข้าสู่เซลล์เพื่อนำไปใช้ในการสร้างพลังงานต่อไป **เซลล์มีกระบวนการสลายกลูโคสเพื่อให้เป็นพลังงานได้อย่างไร**

กลูโคสเป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีโครงสร้างเป็นคาร์บอน 6 อะตอม จัดเป็นสารที่มีพลังงานสูง แต่เซลล์ไม่สามารถนำพลังงานที่อยู่ในกลูโคสไปใช้ได้โดยตรง ต้องมีกระบวนการต่าง ๆ เพื่อสลายโมเลกุลของกลูโคส และได้พลังงานเคมีในรูปที่เซลล์สามารถนำไปใช้ได้ คือ ATP นอกจากนี้ยังมีการสร้างสาร NADH และ $FADH_2$ ซึ่งจะนำไปสร้างเป็น ATP ต่อไป ซึ่งเมื่อเกิดการหายใจระดับเซลล์อย่างสมบูรณ์ กลูโคสจะสลายกลายเป็นน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ ดังรูป 3.36



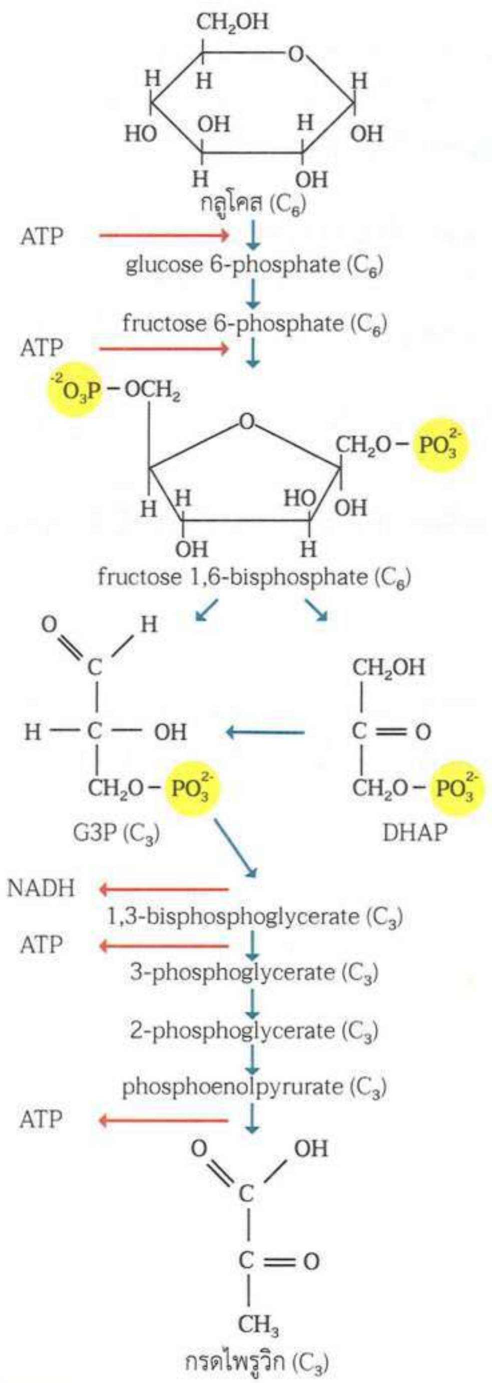
กลูโคส $C_6H_{12}O_6$

$+ O_2 \longrightarrow CO_2 + H_2O +$ พลังงาน (ATP)

รูป 3.36 การสลายกลูโคสเมื่อเกิดการหายใจระดับเซลล์อย่างสมบูรณ์

การสร้างพลังงานจากการสลายสารอาหารเมื่อเกิดการหายใจระดับเซลล์อย่างสมบูรณ์ ประกอบด้วยกระบวนการต่าง ๆ คือ

- **ไกลโคไลซิส** (glycolysis)
- การสร้างแอซิทิลโคเอนไซม์เอ (acetyl coenzyme A) และ**วัฏจักรเครบส์** (Krebs cycle)
- **กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน** (electron transport chain)



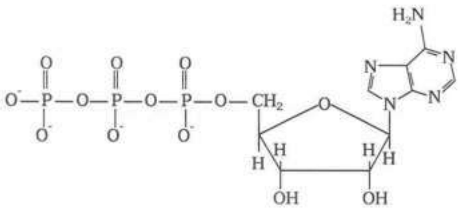
ไกลโคไลซิส

เซลล์จะเกิดกระบวนการสลายกลูโคสที่ไซโทซอลเป็นบริเวณแรก กระบวนการที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า ไกลโคไลซิส โดยคาร์บอน 6 อะตอมของกลูโคส (C_6) จะถูกสลายให้อยู่ในรูปกรดไพรูวิก (pyruvic acid) ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน 3 อะตอม (C_3)

ไกลโคไลซิสเป็นกระบวนการที่เกิดต่อเนื่องกันหลายขั้นตอนและมีเอนไซม์ต่างชนิดกันมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ขั้นตอนแรกของไกลโคไลซิสต้องใช้พลังงานจาก ATP จำนวน 2 โมเลกุลเพื่อเติมหมู่ฟอสเฟตให้กับโมเลกุลของน้ำตาล จากนั้นโมเลกุลของน้ำตาลที่มีหมู่ฟอสเฟตจะผ่านขั้นตอนต่าง ๆ และถูกสลายให้อยู่ในรูปของสารประกอบที่มีคาร์บอน 3 อะตอม จำนวน 2 โมเลกุล คือ G3P (glyceraldehyde 3-phosphate) และ DHAP (dihydroxyacetone phosphate) โดย DHAP สามารถเปลี่ยนกลับมาเป็น G3P ได้

ขั้นตอนต่อมาของไกลโคไลซิสเป็นขั้นตอนที่มีการสร้างพลังงานให้กับเซลล์ โดย G3P 2 โมเลกุล จะถูกสลายต่อจนกลายเป็นกรดไพรูวิกจำนวน 2 โมเลกุล ซึ่งพลังงานในโมเลกุลของ G3P 2 โมเลกุล จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปสารพลังงานสูง 2 ชนิดคือ ATP จำนวน 4 โมเลกุล และ NADH จำนวน 2 โมเลกุล เซลล์จะมีการนำพลังงานที่มีอยู่ใน NADH ไปใช้ในการสร้าง ATP ต่อไป ดังรูป 3.37

รูป 3.37 ขั้นตอนของไกลโคไลซิสที่ใช้พลังงานในการเติมหมู่ฟอสเฟตให้โมเลกุลน้ำตาลและได้พลังงานจากการสลาย G3P ได้เป็นกรดไพรูวิก


โครงสร้าง ATP

ATP เป็นสารพลังงานสูงซึ่งประกอบด้วยสาร 2 ชนิด ต่อกันคือ เบสอะดีนีนกับน้ำตาลไรโบส เรียกว่า อะดีโนซีนและต่อกับหมู่ฟอสเฟตอีก 3 หมู่

หมู่ฟอสเฟตแรกที่จับกับน้ำตาลไรโบสมีพลังงานพันธะต่ำ ส่วนพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างหมู่ฟอสเฟสแรกกับหมู่ที่ 2 และหมู่ที่ 2 กับหมู่ที่ 3 มีพลังงานพันธะสูง

การสร้าง ATP ในไกลโคไลซิส เกิดจากการเติมหมู่ฟอสเฟตให้กับโมเลกุลของ ADP ที่อยู่ภายในเซลล์โดยอาศัยหมู่ฟอสเฟตจากสารชนิดอื่น (substrate-level phosphorylation) การสลายกลูโคส 1 โมเลกุล ผ่านไกลโคไลซิส จะได้ ATP สุทธิ 2 โมเลกุล **พลังงานที่ได้จาก ATP จำนวนนี้เพียงพอที่เซลล์จะนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ หรือไม่**

การสร้างแอซิทิลโคเอนไซม์เอและวัฏจักรเครบส์

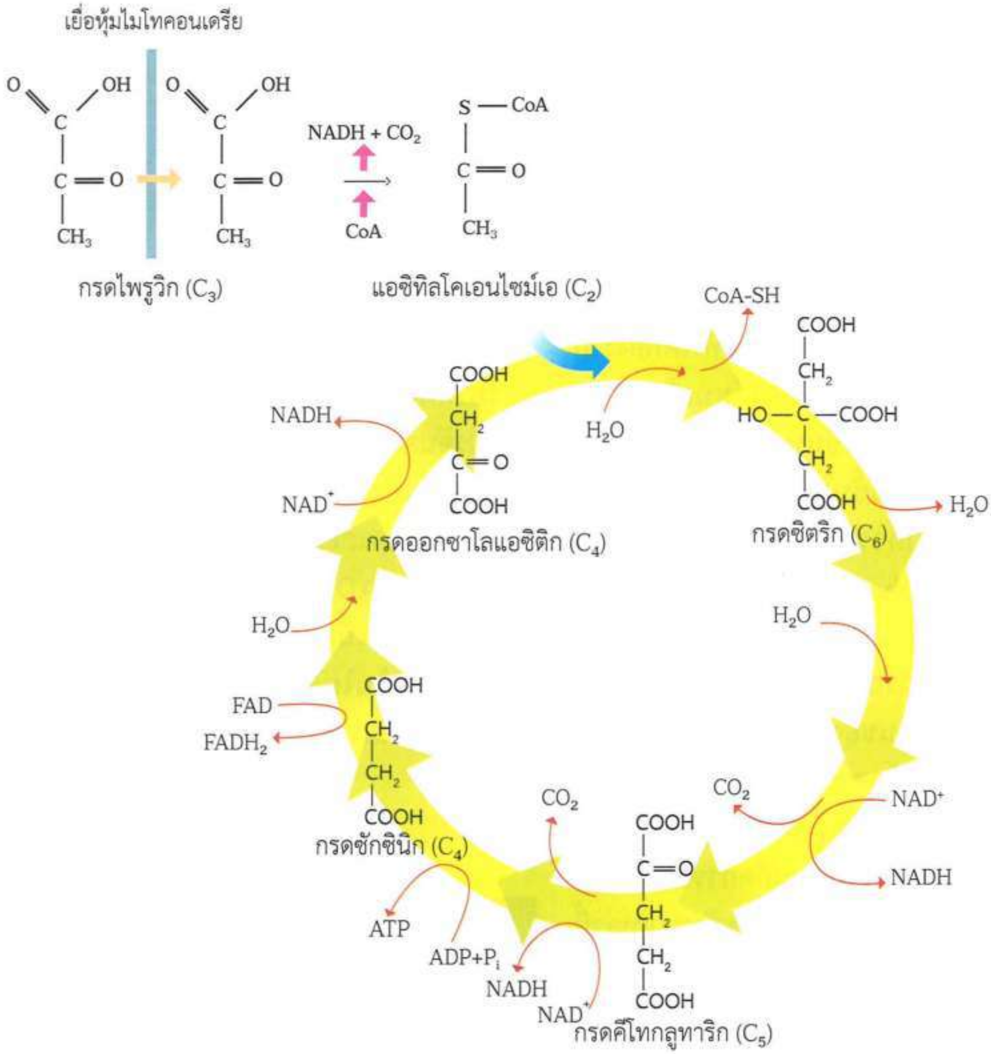
กรดไพรูวิกที่เกิดจากไกลโคไลซิสจะเข้าสู่เมทริกซ์ของไมโทคอนเดรียและทำปฏิกิริยากับโคเอนไซม์เอ (coenzyme A: CoA) ได้เป็นแอซิทิลโคเอนไซม์เอ ปฏิกิริยานี้จะได้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และมีการสร้าง NADH เกิดขึ้น

จากนั้นจะเกิดการสลายสารประกอบคาร์บอนต่าง ๆ อีกหลายขั้นตอน เกิดขึ้นต่อเนื่องเป็นวัฏจักรเรียกว่า วัฏจักรเครบส์ โดยเริ่มต้นจากแอซิทิลโคเอนไซม์เอ ซึ่งมีคาร์บอน 2 อะตอมจากกลูโคสรวมกับกรดออกซาโลแอซิติก (oxaloacetic acid) ซึ่งมีคาร์บอน 4 อะตอม ได้เป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน 6 อะตอม คือ กรดซิตริก (citric acid) และกรดซิตริกที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนแปลงไปอีกหลายขั้นตอนเป็นวัฏจักรจนได้กรดออกซาโลแอซิติกกลับมาตามเดิม ซึ่งจะสามารถรวมตัวกับแอซิทิลโคเอนไซม์เอได้อีก ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในวัฏจักรเครบส์ จะได้คาร์บอนไดออกไซด์ และสารพลังงานสูงต่าง ๆ คือ ATP NADH และ $FADH_2$ ดังรูป 3.38

รู้หรือไม่

วัฏจักรเครบส์เป็นชื่อที่ตั้งขึ้นเพื่อให้เกียรติแก่ Hans Krebs ซึ่งเป็นนักวิทยาศาสตร์ที่มีบทบาทในการศึกษากระบวนการนี้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1930s วัฏจักรเครบส์ยังมีการเรียกด้วยชื่ออื่น ๆ เช่น Citric acid cycle และ Tricarboxylic acid cycle (TCA cycle)

แอซิทิลโคเอนไซม์เอเมื่อเข้าสู่วัฏจักรเครบส์แล้วจะมีการปลดปล่อยพลังงานจากปฏิกิริยาต่าง ๆ หรือไม่ ถ้ามี พลังงานเหล่านั้นอยู่ในรูปของสารใด



รูป 3.38 การสร้างแอซิทิลโคเอนไซม์เอและวัฏจักรเครบส์

เนื่องจากเซลล์ต้องการพลังงานในรูปของ ATP ไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ตลอดเวลา ดังนั้นเซลล์จึงต้องมีกระบวนการที่เรียกว่า การถ่ายทอดอิเล็กตรอน เพื่อเปลี่ยนพลังงานในรูปของสารพลังงานสูงจาก NADH และ $FADH_2$ ให้ได้พลังงานในรูป ATP **การถ่ายทอดอิเล็กตรอนของสารพลังงานสูงจะนำมาสู่การสร้าง ATP ได้อย่างไร**

กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน

จากการสลายสารประกอบคาร์บอนในวัฏจักรเครบส์ พลังงานที่ได้นอกจากจะอยู่ในรูปของ ATP แล้วยังอยู่ในรูปของสารพลังงานสูง คือ NADH และ $FADH_2$ โดยเมื่อเข้าสู่กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน NADH และ $FADH_2$ ซึ่งมีสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอน จะส่งผ่านอิเล็กตรอนไปยังตัวนำอิเล็กตรอนต่าง ๆ โดยมีแก๊สออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายและได้น้ำเป็นผลิตภัณฑ์ การส่งผ่านอิเล็กตรอนจะทำให้พลังงานของสารพลังงานสูงเหล่านี้เปลี่ยนเป็นความแตกต่างของความเข้มข้นของ H^+ ระหว่างผิวสองด้านของเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย ซึ่งจะนำไปใช้ในการสร้าง ATP ให้กับเซลล์ (oxidative phosphorylation)

กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนเกิดขึ้นบริเวณเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย ซึ่งเป็นบริเวณที่มีตัวนำอิเล็กตรอนชนิดต่าง ๆ ฝังอยู่ ในแต่ละช่วงที่มีการส่งผ่านอิเล็กตรอนไปยังตัวนำอิเล็กตรอนชนิดต่าง ๆ นั้น จะเกิดการปลดปล่อยพลังงานออกมาทีละน้อย และนำพลังงานเหล่านี้มาใช้เป็นพลังงานในการเคลื่อนย้าย H^+ จากเมทริกซ์ของไมโทคอนเดรียมายังช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มชั้นในและเยื่อหุ้มชั้นนอกของไมโทคอนเดรีย ทำให้เกิดความแตกต่างของความเข้มข้นของ H^+ ระหว่างผิวสองด้านของเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย จากนั้น H^+ ที่อยู่ระหว่างเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรียจะแพร่กลับเข้าสู่เมทริกซ์ผ่านเอนไซม์ ATP synthase และทำให้เกิดการสร้าง ATP ดังรูป 3.39

ชวนคิด

NADH ที่สร้างขึ้นในไซโทซอลสามารถเข้าสู่กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนในไมโทคอนเดรียได้หรือไม่

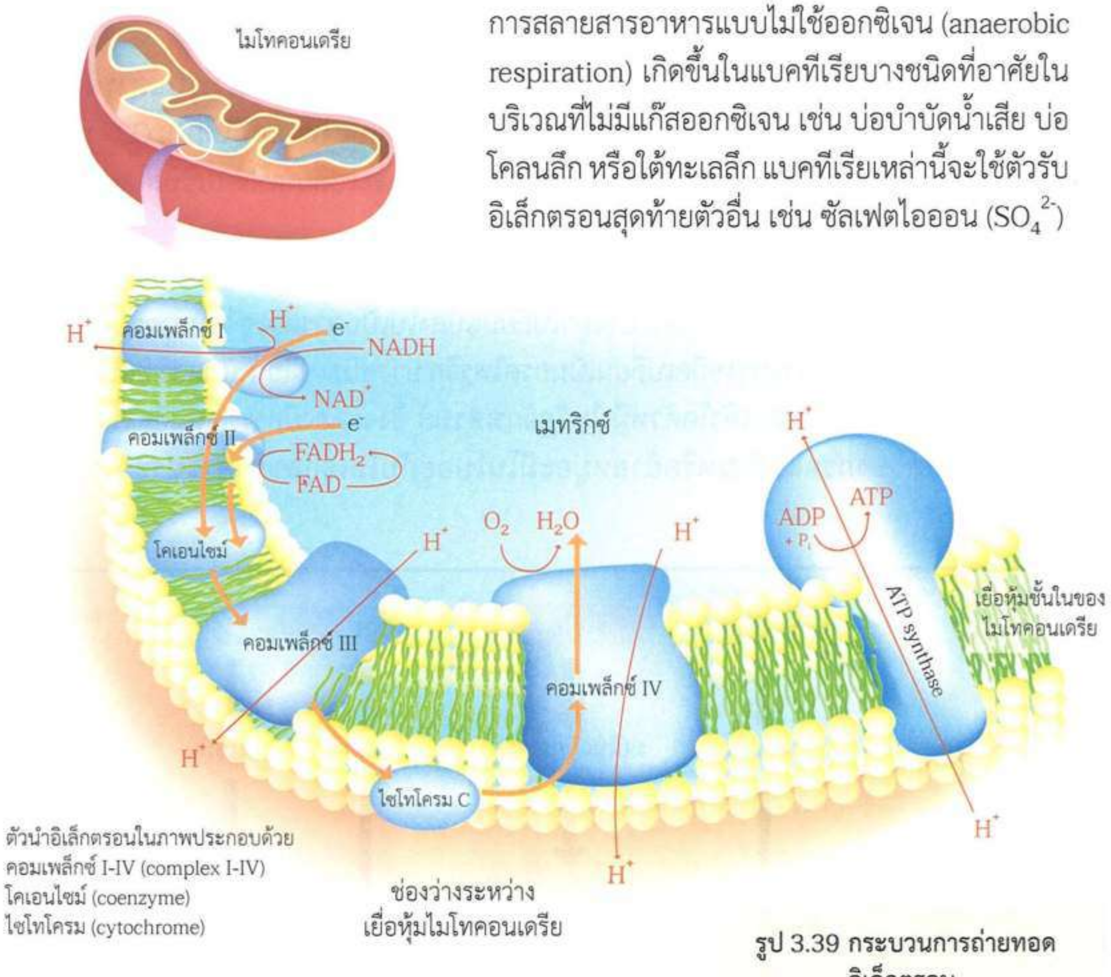
โมเลกุลของ NADH ในไซโทซอลที่เกิดจากไกลโคไลซิสไม่สามารถผ่านเยื่อหุ้มไมโทคอนเดรียได้โดยตรงเนื่องจากไม่มีโปรตีนตัวพาที่จำเพาะสำหรับ NADH แต่จะส่งพลังงานผ่านสารเคมีตัวกลางหลายชนิด และเกิดเป็นสารพลังงานสูงในรูปของ NADH ในไมโทคอนเดรียของเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ ไต และ ตับ หรือ $FADH_2$ ในไมโทคอนเดรียของเซลล์กล้ามเนื้อโครงร่าง สมอง และเซลล์อื่น ๆ

ตรวจสอบความเข้าใจ

- ? ตัวกำหนดการเปลี่ยนแปลงของกรดไพรูวิกในเซลล์ หลังจากเกิดไกลโคไลซิส คืออะไร
- ? การสลายกรดไพรูวิก 1 โมเลกุลในไมโทคอนเดรีย จะได้ผลิตภัณฑ์ใดบ้าง

รู้หรือไม่

การสลายสารอาหารแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic respiration) เกิดขึ้นในแบคทีเรียบางชนิดที่อาศัยในบริเวณที่ไม่มีแก๊สออกซิเจน เช่น บ่อบำบัดน้ำเสีย บ่อโคลนลึก หรือใต้ทะเลลึก แบคทีเรียเหล่านี้จะใช้ตัวรับอิเล็กตรอนสุดท้ายตัวอื่น เช่น ซัลเฟตไอออน (SO_4^{2-})



รูป 3.39 กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน

ชวนคิด

NADH 1 โมเลกุล ให้พลังงานเท่ากับ $FADH_2$ 1 โมเลกุลหรือไม่

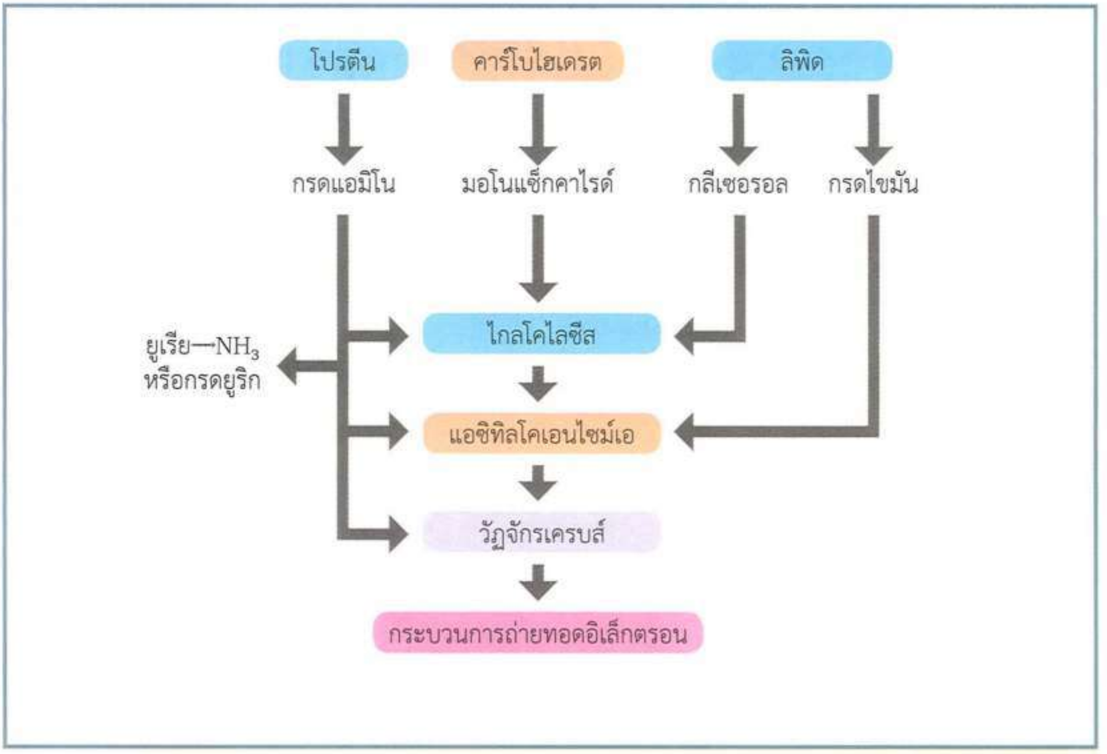
NADH 1 โมเลกุล ส่งผ่านอิเล็กตรอนไปยังตัวนำอิเล็กตรอนที่อยู่ในเยื่อหุ้มไมโทคอนเดรียมากกว่า $FADH_2$ 1 โมเลกุล ทำให้เกิดการเคลื่อนย้าย H^+ ไปยังช่องว่างระหว่างเยื่อหุ้มไมโทคอนเดรียได้มากกว่า ส่งผลให้เกิดการสร้าง ATP ที่มากกว่าตามไปด้วย

การสลายลิพิดและโปรตีน

ในแต่ละวันร่างกายไม่ได้รับกลูโคสเพียงอย่างเดียว ยังมีสารอาหารอีกหลายชนิดที่ให้พลังงานกับเซลล์ได้ **เซลล์จะมีการสลายสารอาหารเหล่านี้เพื่อสร้างเป็นพลังงานให้กับเซลล์ได้อย่างไร**

กรดไขมันและกลีเซอรอลที่ได้จากการย่อยลิพิด เมื่อลำเลียงเข้าสู่เซลล์จะเป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสลายสารอาหาร กลีเซอรอลจะมีกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีให้เป็น G3P และเข้าสู่กระบวนการสลายสารอาหารในช่วงไกลโคไลซิส ส่วนกรดไขมันจะเปลี่ยนเป็นแอซิทิลโคเอนไซม์เอ ซึ่งพร้อมที่จะเข้าสู่วัฏจักรเครบส์ต่อไป

กรดแอมิโนที่ได้จากการย่อยโปรตีน อาจถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นสารต่างๆ ได้หลายแนวทางตามชนิดของกรดแอมิโนนั้น ๆ เช่น บางชนิดเปลี่ยนเป็นกรดไพรูวิก บางชนิดเปลี่ยนเป็นแอซิทิลโคเอนไซม์เอ หรือบางชนิดก็เปลี่ยนเป็นสารตัวใดตัวหนึ่งในวัฏจักรเครบส์ ซึ่งจะต้องมีการตัดหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ออกจากโมเลกุลของกรดแอมิโนหรือย้ายหมู่อะมิโนไปอยู่กับโมเลกุลของสารประกอบตัวอื่น ดังรูป 3.40



รูป 3.40 กระบวนการสลายคาร์โบไฮเดรต ลิพิด และโปรตีน ในภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอ

ในภาวะที่เซลล์ได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอ กระบวนการสลายสารอาหารต่าง ๆ จะเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ทั้งไกลโคไลซิส การสร้างแอซิทิลโคเอ วัฏจักรเครบส์ และกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ทำให้มี NAD^+ และ FAD มากพอที่จะนำกลับมาใช้ในการสลายสารอาหารของเซลล์ให้เกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งเรียกกระบวนการสลายสารอาหารในภาวะเช่นนี้ว่า การสลายสารอาหารแบบใช้ออกซิเจน (aerobic respiration) **เมื่อเซลล์อยู่ในภาวะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอ เซลล์จะยังคงสร้างพลังงานเพื่อใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ได้หรือไม่**

3.4.2 การหายใจระดับเซลล์ในภาวะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอ

ในกรณีที่เซลล์มีความต้องการ ATP ในปริมาณมากในระยะเวลาอันสั้น หรือในกรณีที่เซลล์อยู่ในภาวะที่มีแก๊สออกซิเจนไม่เพียงพอ กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอนจะหยุดชะงักลงเนื่องจากไม่มีตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย ทำให้ NADH และ $FADH_2$ ไม่สามารถถ่ายทอดอิเล็กตรอนไปยังตัวนำอิเล็กตรอนตัวอื่น ๆ ที่อยู่บนเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรียได้ การสร้าง ATP จึงหยุดชะงักตามไปด้วย

ขณะที่ไกลโคไลซิสยังดำเนินต่อไปและจำเป็นต้องใช้ NAD^+ กลับไปใช้ในไกลโคไลซิส **เซลล์จะมีวิธีการอย่างไรที่จะเปลี่ยน NADH ที่มีสะสมอยู่มากให้กลายเป็น NAD^+ ซึ่งจะทำให้ไกลโคไลซิสไม่หยุดชะงักและสร้างพลังงานบางส่วนให้กับเซลล์ได้**

กระบวนการหมัก

กระบวนการที่สามารถเปลี่ยน NADH ที่สะสมอยู่กลับไปเป็น NAD^+ เพื่อนำกลับไปใช้สลายสารอาหารในขั้นตอนไกลโคไลซิสอีกครั้งเพื่อให้เซลล์ยังสามารถสร้าง ATP ต่อไปได้นั้นเรียกว่า **กระบวนการหมัก** (fermentation) ซึ่งเกิดขึ้นได้ 2 รูปแบบคือ **กระบวนการหมักกรดแลกติก** (lactic acid fermentation) และ**กระบวนการหมักแอลกอฮอล์** (alcohol fermentation) ซึ่งจะเกิดรูปแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

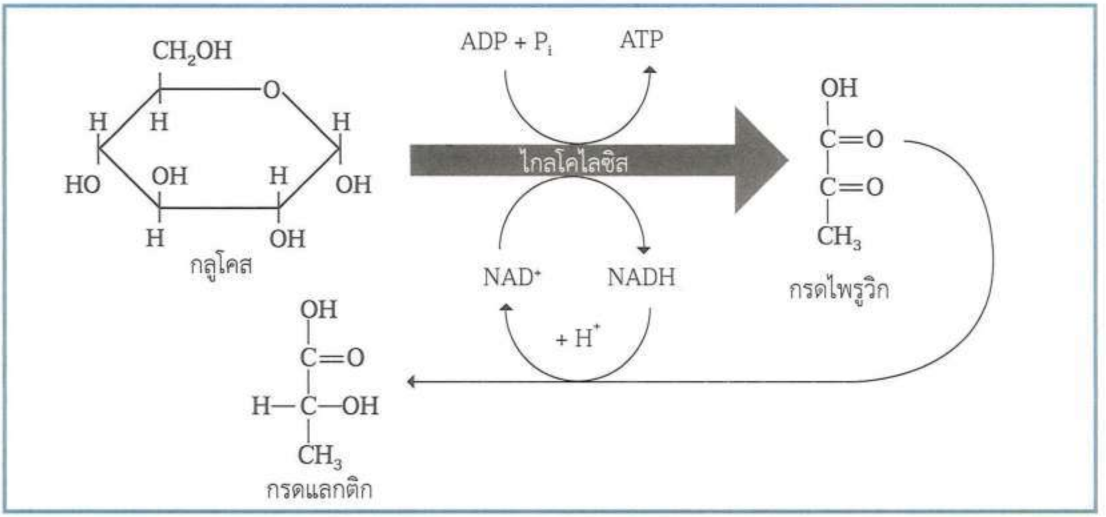
ตรวจสอบความเข้าใจ

? ไมโทคอนเดรียมีความจำเป็นต่อการสลายกลูโคสในภาวะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอหรือไม่ เพราะเหตุใด

กระบวนการหมักกรดแลกติก

กรณีที่เซลล์ร่างกายของมนุษย์มีความต้องการ ATP ปริมาณมากในระยะเวลาอันสั้น เช่น เซลล์กล้ามเนื้อโครงร่างขณะออกกำลังกาย ATP จะลดลงอย่างรวดเร็วและเลือดไม่สามารถลำเลียงแก๊สออกซิเจนเพื่อใช้ในการสลายสารอาหารได้ทัน เซลล์จึงต้องเข้าสู่วิถีของกระบวนการหมักเพื่อให้ยังมีการผลิต ATP ให้กับเซลล์ได้ โดยกระบวนการหมักกรดแลกติกซึ่งจะเปลี่ยนกรดไพรูวิกที่ได้จากขั้นตอนไกลโคไลซิส ไปเป็นกรดแลกติกโดยอาศัยอิเล็กตรอนจาก NADH ที่สะสมอยู่ ซึ่งทำให้ NADH เปลี่ยนกลับไปเป็น NAD^+ เพื่อกลับไปใช้ในการสร้าง ATP ในขั้นตอนไกลโคไลซิส ดังรูป 3.41 กรดแลกติกที่เกิดจากกระบวนการหมักจะมีการลำเลียงออกจากเซลล์กล้ามเนื้อไปยังตับเพื่อสังเคราะห์กลับเป็นกลูโคสซึ่งร่างกายสามารถนำไปใช้ต่อไปได้

กระบวนการหมักกรดแลกติกยังเกิดขึ้นในแบคทีเรียบางชนิด ซึ่งมนุษย์สามารถนำผลผลิตที่ได้จากกระบวนการหมักมาใช้ประโยชน์ในการผลิตอาหาร เช่น โยเกิร์ต นมเปรี้ยว ผักและผลไม้ดอง



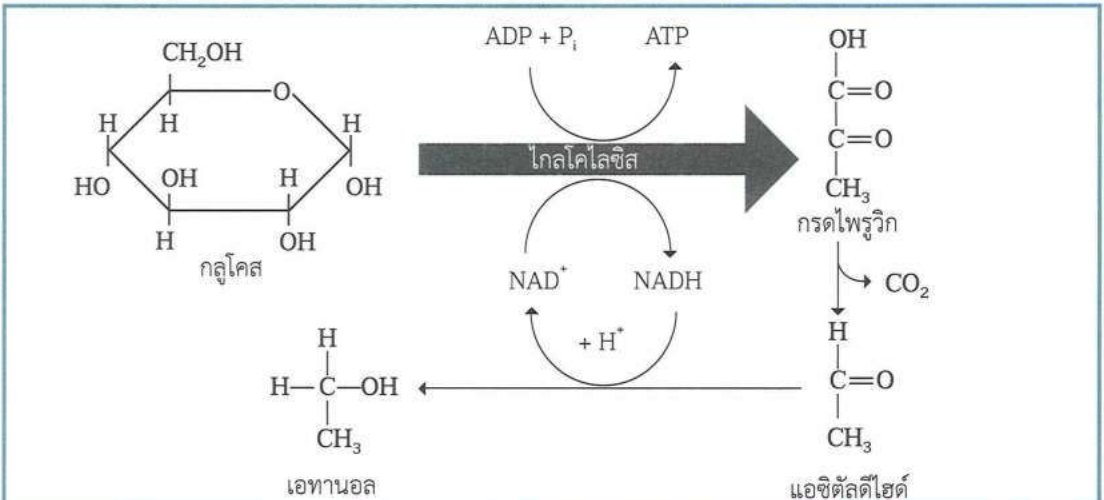
รูป 3.41 การสลายกลูโคสโดยกระบวนการหมักกรดแลกติกในภาวะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอ

กรณีที่พืชอยู่ในภาวะน้ำท่วมทำให้รากได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ เซลล์รากจึงต้องเกิดกระบวนการหมักเพื่อให้เซลล์มีพลังงานไปใช้ในการดำรงชีวิตต่อไป ซึ่งเกิดได้ทั้งกระบวนการหมักกรดแลกติก และกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ **กระบวนการหมักแอลกอฮอล์แตกต่างจากกระบวนการหมักกรดแลกติกอย่างไร**

กระบวนการหมักแอลกอฮอล์

กระบวนการหมักแอลกอฮอล์แตกต่างจากการหมักกรดแลกติกโดยเมื่อการสลายสารอาหารผ่านไกลโคไลซิสและได้กรดไพรูวิกแล้ว จะถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นแอซิตัลดีไฮด์ (acetaldehyde) และปลดปล่อยคาร์บอนออกมาในรูปของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แอซิตัลดีไฮด์ที่ได้จะรับอิเล็กตรอนจาก NADH ได้แอลกอฮอล์เป็นผลิตภัณฑ์ และทำให้มี NAD^+ กลับเข้าสู่ไกลโคไลซิสและเกิดการสร้าง ATP เพื่อใช้เป็นพลังงานให้กับเซลล์ได้ต่อไป ดังรูป 3.42

กระบวนการหมักยังเกิดขึ้นได้ในเซลล์ยีสต์ ในภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอยีสต์จะสร้างพลังงานผ่าน ไกลโคไลซิส วัฏจักรเครบส์ และกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน เพื่อใช้ในการแบ่งเซลล์ แต่เมื่อเซลล์อยู่ในภาวะที่ขาดแคลนออกซิเจน เซลล์จะสร้างพลังงานผ่านไกลโคไลซิสและเข้าสู่กระบวนการหมักแอลกอฮอล์ เพื่อสร้างพลังงานให้กับเซลล์ มนุษย์สามารถนำผลผลิตที่ได้จากการกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ของเซลล์ยีสต์มาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น การผลิตขนมปัง ข้าวหมาก และเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ต่าง ๆ เป็นต้น



รูป 3.42 การสลายกลูโคสโดยกระบวนการหมักแอลกอฮอล์ในภาวะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอ

เชื่อมโยงด้านพลังงาน

การพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพในโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา

เอทานอล

พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 9 ทรงเริ่มต้นศึกษาวิจัยเชื้อเพลิงชีวภาพตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2526 ด้วยเหตุผลที่ว่าในอนาคตอาจประสบปัญหาการขาดแคลนน้ำมัน พระองค์จึงเริ่มต้นศึกษาวิจัยในโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา ตั้งแต่การรับซื้ออ้อยที่ปลูกโดยชาวบ้านมาผลิตแอลกอฮอล์ และทดลองปลูกอ้อยสายพันธุ์ต่าง ๆ เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้ดีที่สุด นอกจากนี้ยังนำวัตถุดิบอื่น ๆ มาใช้ในการผลิตแอลกอฮอล์ เช่น มันสำปะหลัง ฟางข้าว ขี้เลื่อย กากน้ำตาลหรือของเสียจากโรงงานกระดาษ เป็นต้น

การผลิตแอลกอฮอล์ของโครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา ในช่วงแรกสามารถผลิตได้เป็นแอลกอฮอล์ 91 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งยังไม่สามารถนำไปผสมกับเบนซินได้ จึงนำแอลกอฮอล์ที่ได้ไปผลิตเป็นน้ำส้มสายชู รวมทั้งทำเป็นแอลกอฮอล์แข็งเพื่อใช้อุ่นอาหารภายในสวนจิตรลดา จากนั้นมีการปรับปรุงวิธีการกลั่นแอลกอฮอล์เรื่อยมาจนสามารถผลิตเป็นเอทานอลซึ่งเป็นแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 95 เปอร์เซ็นต์ได้ในที่สุด

แก๊สโซฮอล์

แก๊สโซฮอล์เป็นเชื้อเพลิงที่เกิดจากการผสมเอทานอลกับเบนซิน 91 ในอัตราส่วน 1 : 9 โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาแม้จะมีการผลิตเอทานอลได้แล้ว แต่เนื่องจากแอลกอฮอล์ที่ผลิตได้ยังมีน้ำผสมอยู่ จึงต้องนำไปผ่านกระบวนการแยกน้ำเพื่อให้ได้เป็นแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ก่อนนำไปผสมกับเบนซินได้

ในปี พ.ศ. 2537 โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดาได้ขยายกำลังการผลิตเอทานอลเพื่อให้เพียงพอที่จะนำมาใช้ผสมกับเบนซิน และเมื่อผลิตแก๊สโซฮอล์ได้มากเพียงพอแล้วจึงทดลองใช้กับรถยนต์ทุกคันของสวนจิตรลดาแทนน้ำมันเบนซินธรรมดา

ต่อมารัฐบาลมีนโยบายยกเลิกการเติมสารตะกั่วในน้ำมันเพื่อแก้ไขปัญหามลพิษ ทำให้โรงกลั่นน้ำมันต้องนำเข้าสารเพิ่มออกเทนมาผสมกับน้ำมันเบนซินแทน จึงมีการนำแก๊สโซฮอล์มาใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้นเพราะนอกจากจะช่วยลดปัญหามลพิษแล้ว ยังช่วยลดงบประมาณในการนำเข้าและทำให้ผลผลิตหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่นำมาผลิตเอทานอลมีราคาสูงขึ้นด้วย

เรียบเรียงจากหนังสือ "พระบิดาแห่งการพัฒนาพลังงานไทย" จัดทำขึ้นโดยกระทรวงพลังงาน
สามารถอ่านเพิ่มเติมได้ที่ goo.gl/xbrbJx

ลองทำดู : การหมักแอลกอฮอล์ของเซลล์ยีสต์

หลอดทดลองที่ 1 น้ำกลั่น 9 mL + ยีสต์ผง 1/2 ช้อนชา
หลอดทดลองที่ 2 น้ำกลั่น 9 mL + ยีสต์ผง 1/2 ช้อนชา + น้ำตาลทราย 1/2 ช้อนชา
หลอดทดลองที่ 3 น้ำสับปะรด 9 mL + ยีสต์ผง 1/2 ช้อนชา
เติมน้ำมันพืชให้ลอยอยู่ที่ผิวหน้าของสารละลายตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1-2 ชั่วโมงโดยไม่ต้องเขย่าหลอดทดลองและสังเกตผล

? เหตุใดจึงมีการเติมน้ำมันพืชลงในหลอดทดลองทั้ง 3 หลอด
? การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในหลอดทดลองทั้ง 3 หลอดเหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร
? ถ้าไม่มีการเติมน้ำมันพืช และเขย่าหลอดทดลองทั้ง 3 หลอด จะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนหรือแตกต่างจากการทดลองแรกอย่างไร

สิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่จะใช้ออกซิเจนในการสลายสารอาหาร โดยในภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอจะเกิดการหายใจระดับเซลล์อย่างสมบูรณ์ คือมีการสลายสารอาหารผ่านไกลโคไลซิส การสร้างแอซิทิลโคเอ วัฏจักรเครบส์ และกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ส่วนในภาวะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอจะมีการสลายสารอาหารผ่านไกลโคไลซิสและกระบวนการหมัก

3.5 การแบ่งเซลล์

การเติบโต (growth) และการสืบพันธุ์เป็นสมบัติพื้นฐานที่สำคัญอย่างหนึ่งของสิ่งมีชีวิต การเติบโตของสิ่งมีชีวิตหมายถึงการเพิ่มจำนวนของเซลล์ด้วยการแบ่งเซลล์ สิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนหรือสิ่งมีชีวิตโพรแคริโอต การแบ่งเซลล์จะเป็นการสืบพันธุ์เพื่อเพิ่มจำนวนประชากร เช่น การแบ่งเซลล์ของแบคทีเรีย ขณะที่สิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ที่มีโครงสร้างของเซลล์ที่ซับซ้อนกว่าหรือสิ่งมีชีวิตยูแคริโอต การแบ่งเซลล์นอกจากจะเป็นการเติบโตแล้วยังเป็นการทดแทนเซลล์ที่ตายหรือเสียหาย ยกเว้นเซลล์กล้ามเนื้อ และเซลล์ประสาท **เซลล์ยูแคริโอตมีกระบวนการแบ่งเซลล์อย่างไร**

การแบ่งเซลล์ของสิ่งมีชีวิตยูแคริโอตประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ **การแบ่งนิวเคลียส** (karyokinesis) และ**การแบ่งไซโทพลาซึม** (cytokinesis) การแบ่งนิวเคลียสสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ การแบ่งนิวเคลียสแบบ**ไมโทซิส** (mitosis) และการแบ่งนิวเคลียสแบบ**ไมโอซิส** (meiosis) การแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิสเป็นวิธีที่ทำให้ได้เซลล์ใหม่มีจำนวนโครโมโซมคงที่ ส่วนการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิสเป็นการแบ่งนิวเคลียสที่ทำให้เกิดการลดจำนวนโครโมโซมลงครึ่งหนึ่ง อาจเรียกการแบ่งนิวเคลียสแต่ละแบบนี้ว่า เป็นการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสตามลำดับ ซึ่งหลังจากการแบ่งนิวเคลียสทั้ง 2 แบบนี้จะมีการแบ่งไซโทพลาซึมตามมาเสมอ โดยปกติแล้วการแบ่งนิวเคลียสจะใช้ระยะเวลานานกว่าการแบ่งไซโทพลาซึมมาก โดยมีการแบ่งสารพันธุกรรมจากเซลล์แม่ไปสู่เซลล์ลูกด้วย ซึ่งสารพันธุกรรมนี้ถูกเก็บอยู่ในโครโมโซม

รู้หรือไม่

การดื่มเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของแอลกอฮอล์ในปริมาณมากและเป็นประจำจะทำให้เซลล์ประสาทที่สมองผิดปกติ โดยสูญเสียของเหลวทำให้เซลล์ตาย ซึ่งเซลล์ประสาทไม่แบ่งเซลล์ขึ้นมาทดแทน ทำให้สมองสูญเสียสมรรถภาพในการทำงาน

รู้หรือไม่

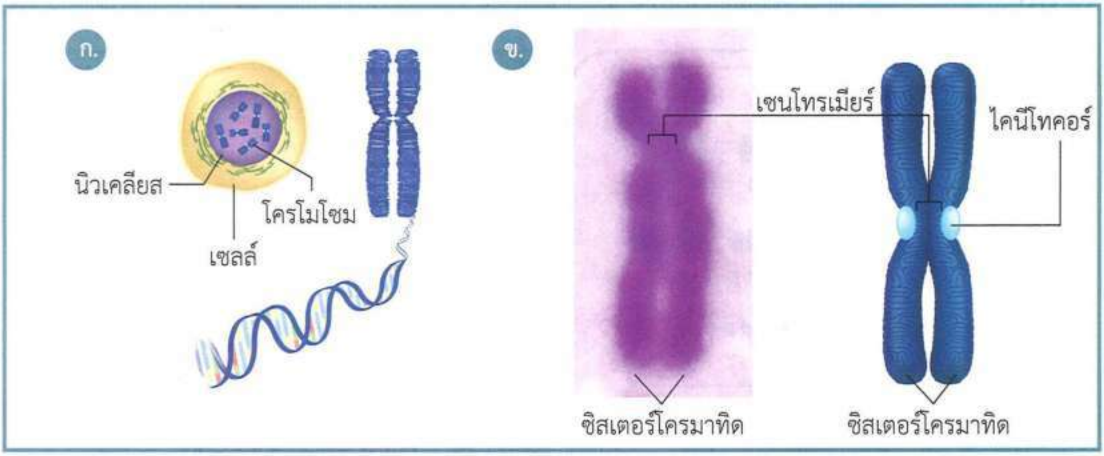
เซลล์กล้ามเนื้อโครงร่างจะไม่มีการแบ่งเซลล์หรือสร้างใหม่อีก ดังนั้นการที่กล้ามเนื้อของนักกีฬาเพาะกายมีขนาดใหญ่เด่นชัด เพราะมีการใช้งานกล้ามเนื้อโครงร่างมัดนั้นเป็นประจำจึงทำให้กล้ามเนื้อนั้นปรับตัวโดยการเพิ่มปริมาณเส้นใยกล้ามเนื้อเล็กภายในเซลล์ทำให้เซลล์มีขนาดใหญ่ขึ้น

3.5.1 โครโมโซม

ภายในนิวเคลียสของเซลล์ยูคาริโอตมีสารพันธุกรรม เรียกว่า DNA และโปรตีนหลายชนิดประกอบกันเป็นโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นสายยาว เรียกว่า **โครมาทิน** (chromatin) ระหว่างการแบ่งเซลล์โครมาทินจะขดตัวกันแน่นมีลักษณะเป็นแท่ง เรียกว่า **โครโมโซม** (chromosome) แต่ละโครโมโซมอาจจะมีลักษณะเป็น 1 หรือ 2 แท่ง ขึ้นอยู่กับช่วงระยะของเซลล์ โครโมโซมที่มีลักษณะเป็น 2 แท่งนี้ประกอบด้วย 2 **โครมาทิด** (chromatid) ที่ยึดติดกันที่ตำแหน่ง **เซนโทรเมียร์** (centromere) โดยแต่ละโครมาทิดเรียกว่า ซิสเตอร์โครมาทิด (sister chromatid) และบริเวณเซนโทรเมียร์จะพบโปรตีนที่เรียกว่า **ไคนีโทคอร์** (kinetochore) ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของโครโมโซม ดังรูป 3.43

ความรู้เพิ่มเติม





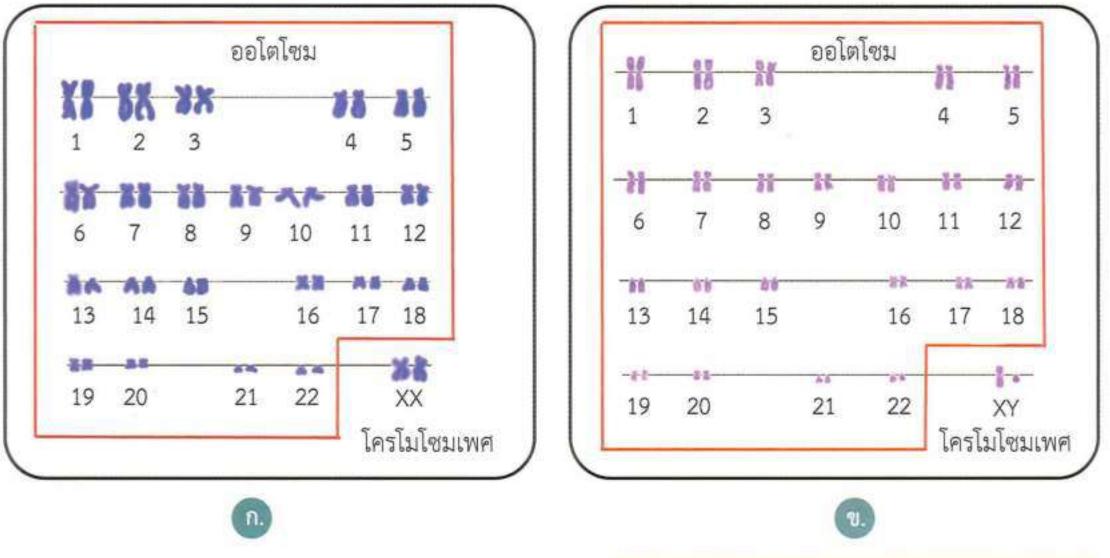
รูป 3.43 โครโมโซม
ก. การขดตัวของโครมาทินเป็นแท่งโครโมโซม ข. ลักษณะของโครโมโซม

สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีจำนวนโครโมโซมคงที่ เช่น เซลล์ร่างกายของมนุษย์ 1 เซลล์ มีโครโมโซมทั้งหมด 46 โครโมโซม โดยโครโมโซมที่เหมือนกันเป็นคู่ ๆ เรียกว่า **ฮอมอโลกัสโครโมโซม** (homologous chromosome) หรือโครโมโซมคู่เหมือน ดังรูป 3.44



รูป 3.44 โครโมโซมของสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่ง
ก. เซลล์ร่างกาย (2n) ข. เซลล์สืบพันธุ์ (n)

จำนวนโครโมโซมของเซลล์ร่างกายซึ่งมีลักษณะเหมือนกัน 2 ชุด เขียนแทนด้วย 2n เรียกว่า **ดิพลอยด์** (diploid) ซึ่งประกอบด้วยโครโมโซมชุดหนึ่งมาจากพ่อและอีกชุดหนึ่งมาจากแม่ ส่วนเซลล์สืบพันธุ์จำนวนโครโมโซมจะมีเพียงครึ่งหนึ่งของเซลล์ร่างกาย เขียนแทนจำนวนนี้ด้วย n เรียกว่า **แฮพลอยด์** (haploid) สำหรับมนุษย์มีจำนวนโครโมโซม 2n = 46 โดยเป็นโครโมโซม 22 คู่ที่เหมือนกันทั้งเพศหญิงและเพศชาย เรียกว่า **ออโตโซม** (autosome) ส่วนคู่ที่ 23 แตกต่างกัน ซึ่งเป็นตัวกำหนดเพศของมนุษย์ เรียกว่า **โครโมโซมเพศ** (sex chromosome) โดยเพศหญิงนั้นมีโครโมโซมเพศทั้ง 2 โครโมโซมเหมือนกัน (XX) ส่วนเพศชายมีโครโมโซมเพศแตกต่างกัน (XY) ดังรูป 3.45



รูป 3.45 โครโมโซมของมนุษย์
ก. เพศหญิง ข. เพศชาย

? เซลล์สืบพันธุ์ของมนุษย์ที่ได้จากการแบ่งเซลล์จะมีจำนวนโครโมโซมเท่าใด

3.5.2 วัฏจักรเซลล์และการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส

ในการแบ่งเซลล์ เซลล์จะมีการเตรียมความพร้อมโดยการสร้าง RNA และโปรตีนที่จำเป็นในการแบ่งเซลล์ หลังจากนั้นจะมีการเพิ่มจำนวน DNA แล้วแบ่งนิวเคลียสและไซโทพลาซึมจนเสร็จสิ้น เรียกว่า **วัฏจักรเซลล์** (cell cycle) ซึ่งพบเฉพาะการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส เนื่องจากเซลล์ที่ได้จากการแบ่งแบบนี้สามารถเข้าสู่วัฏจักรเซลล์ได้อีกขึ้นกับชนิดของเซลล์

วัฏจักรเซลล์ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ **ระยะอินเตอร์เฟส** (interphase) และระยะที่มีการแบ่งแบบ**ไมโทซิส** (mitotic phase หรือ M phase) ซึ่งรวมถึงการแบ่งไซโทพลาซึมด้วย โดยจะศึกษาได้จากกิจกรรม 3.3 และรูป 3.47

กิจกรรม 3.3 การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของปลายรากหอม

จุดประสงค์

1. ศึกษาการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสของปลายรากหอมตามขั้นตอนต่าง ๆ
2. สังเกต บันทึกและอธิบายโครงสร้างของเซลล์ที่แบ่งแบบไมโทซิสจากกล้องจุลทรรศน์
3. เปรียบเทียบการแบ่งเซลล์ระยะต่าง ๆ ที่เห็นจากกล้องจุลทรรศน์กับรูปในบทเรียน

วัสดุและอุปกรณ์

1. หอมแดง หรือหอมใหญ่
2. กรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 10%
3. สีอะซีโทคาร์มีน (acetocarmine) ความเข้มข้น 0.5% หรือน้ำสีจากการต้มข้าวเหนียวดำ
4. น้ำกลั่น
5. ขวดปากกว้างหรือบีกเกอร์ขนาด 50 mL
6. กระดาษเยื่อ
7. หลอดหยด
8. ใบมีดโกน
9. ดินสอชนิดที่มียางลบ
10. สไลด์ และกระจกปิดสไลด์
11. ตะเกียงแอลกอฮอล์
12. กล้องจุลทรรศน์

วิธีการทำกิจกรรม

1. ตัดลำต้นที่แห้งและแข็งของหอมแดงหรือหอมใหญ่ออก จากนั้นนำไปวางบนปากขวดปากกว้าง หรือวางบนบีกเกอร์ หรือขวดน้ำที่มีน้ำอยู่จนรากงอกประมาณ 2-3 เซนติเมตร



บริเวณลำต้นที่แห้งและแข็ง

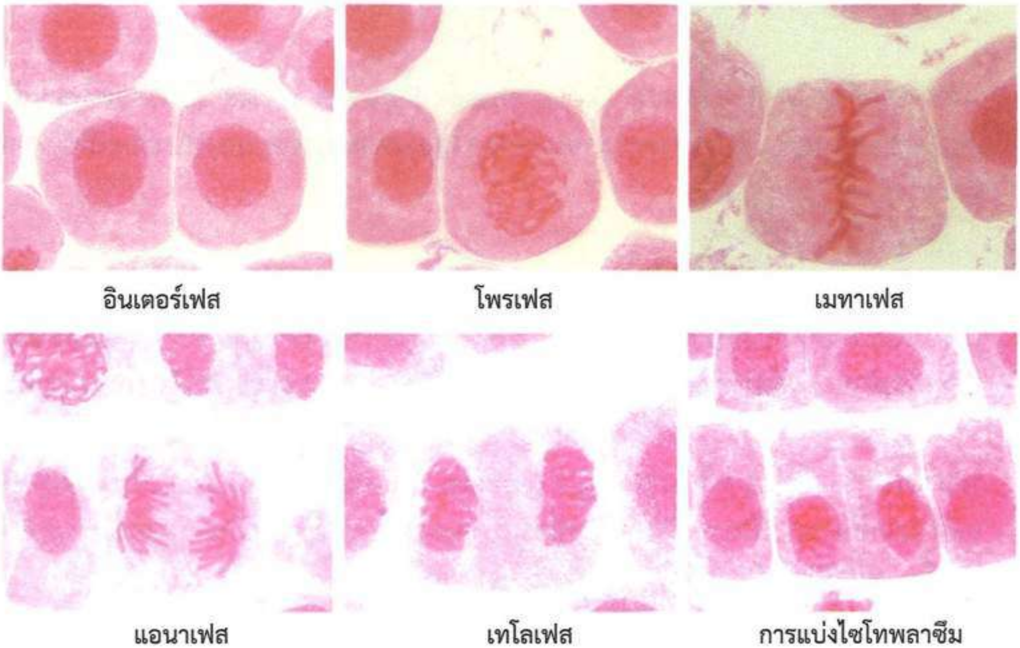

รากหอมที่ได้จากการเพาะ

2. ตัดปลายรากหอมยาวประมาณ 1-2 มิลลิเมตร นำมาวางบนสไลด์แล้วหยดกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 10% ให้ท่วม ผ่านสไลด์ไปมาบนเปลวไฟ 3-4 ครั้ง ระวังอย่าให้กรดไฮโดรคลอริกแห้ง แล้วล้างกรดไฮโดรคลอริกออกโดยหยดน้ำกลั่นลงบนสไลด์และเทออก 2-3 ครั้ง
3. ซับน้ำให้แห้งแล้วหยดสีอะซีโทคาร์มิน ความเข้มข้น 0.5% ให้พอท่วมตัวอย่าง ผ่านสไลด์บนเปลวไฟอย่างรวดเร็ว ระวังอย่าให้สีเดือดและแห้ง แล้วปิดด้วยกระจกปิดสไลด์
4. ใช้ดินสอด้านที่มียางลบติดอยู่กดและปล่อยเบา ๆ บนกระจกปิดสไลด์เพื่อให้เซลล์กระจาย แล้วใช้กระดาษเยื่อซับบริเวณข้างกระจกปิดสไลด์ให้แห้ง
5. ตรวจดูเซลล์รากหอมด้วยกล้องจุลทรรศน์ โดยใช้เลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยายต่ำสุด เลือกบริเวณที่เห็นนิวเคลียสลักษณะต่าง ๆ กัน แล้วเปลี่ยนใช้เลนส์ใกล้วัตถุที่มีกำลังขยายสูงจนเห็นภาพชัด สังเกตความแตกต่างของแต่ละเซลล์ บันทึกภาพพร้อมระบุกำลังขยาย เปรียบเทียบกับรูป 3.46 ซึ่งเป็นภาพแสดงนิวเคลียสของเซลล์รากหอมในการแบ่งเซลล์ระยะต่างๆ

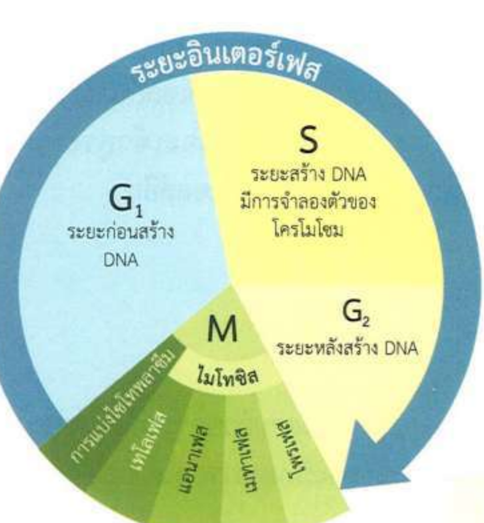
คำถามท้ายกิจกรรม

? จากภาพที่สังเกตได้ โครโมโซมมีลักษณะอย่างไรบ้าง เมื่อเปรียบเทียบกับรูป 3.46

จากกิจกรรม 3.3 นิวเคลียสของแต่ละเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น จึงพบโครโมโซมในแต่ละนิวเคลียสมีลักษณะแตกต่างกันตามระยะต่าง ๆ ของการแบ่งเซลล์ ดังรูป 3.46



รูป 3.46 การเปลี่ยนแปลงของโครโมโซมในนิวเคลียสระยะต่างๆ ของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส บริเวณปลายรากหอม (*Allium cepa*)



ในแต่ละขั้นตอนของวัฏจักรเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงของนิวเคลียสและไซโทพลาซึมต่างกันซึ่งมีรายละเอียด ดังรูป 3.47

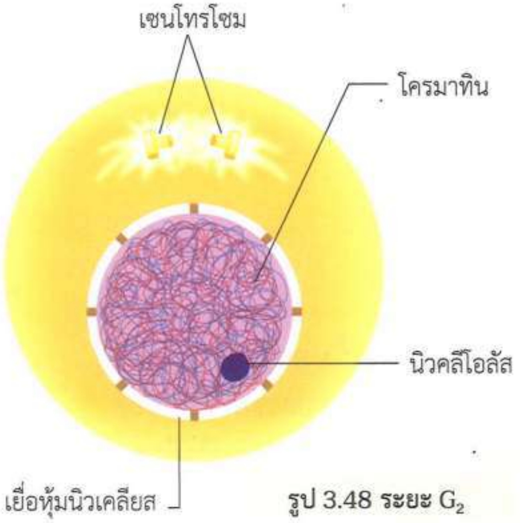
รูป 3.47 วัฏจักรเซลล์

- **ระยะอินเตอร์เฟส (interphase)** เป็นระยะที่เซลล์เตรียมพร้อมก่อนที่จะแบ่งนิวเคลียสและไซโทพลาซึม เซลล์ในระยะนี้มีนิวเคลียสขนาดใหญ่เห็นได้ชัดเจนและเป็นระยะที่ใช้เวลานานที่สุด ระยะอินเตอร์เฟสแบ่งเป็น 3 ระยะต่อเนื่องกัน ดังรูป 3.47 คือ

1. ระยะก่อนสร้าง DNA หรือระยะ G_1 (G_1 phase : First gap phase) เป็นระยะที่เซลล์มีการเติบโต ขนาดใหญ่ขึ้น มีการสังเคราะห์สารต่าง ๆ โดยเฉพาะโปรตีน และเป็นระยะที่ใช้เวลานานที่สุด

2. ระยะสร้าง DNA หรือระยะ S (S phase : Synthesis phase) เป็นระยะที่มีการจำลองตัวของโครโมโซม โดยการสังเคราะห์ DNA เพิ่มอีกชุดหนึ่ง ทำให้เมื่อสิ้นสุดระยะ S แต่ละโครโมโซมประกอบด้วย 2 โครมาทิด ซึ่งยังไม่มีการขดตัวทำให้สาย DNA ในระยะนี้ยังเป็นโครมาทินอยู่

3. ระยะหลังสร้าง DNA หรือระยะ G_2 (G_2 phase : Second gap phase) เป็นระยะที่ DNA ขดตัวมากขึ้น เซลล์มีการเตรียมพร้อมที่จะแบ่งเซลล์ มีการสร้างโปรตีนและออร์แกเนลล์ต่าง ๆ เพิ่มขึ้น เช่น เซนโทรโซม ทำให้ในระยะนี้มี 2 เซนโทรโซม ดังรูป 3.48

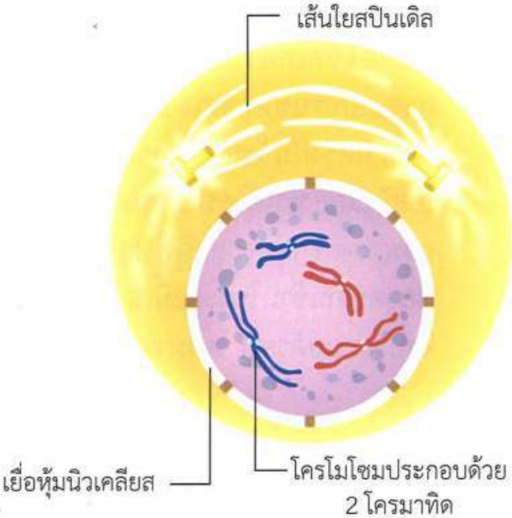


รูป 3.48 **ระยะ G_2**

เซลล์บางชนิดอาจเข้าระยะ G_0 (G_0 : Resting stage) ซึ่งเป็นระยะก่อนระยะ G_1 ระยะนี้เซลล์จะมีการพักตัวหรือต้องมีการกระตุ้นก่อนจึงจะเข้าสู่ระยะ G_1 ต่อไป แต่เซลล์บางชนิด เช่น เซลล์ประสาทของมนุษย์จะเข้าสู่ระยะ G_0 ตลอดไปทำให้ไม่มีการแบ่งเซลล์อีก

- **ระยะ M phase** เป็นระยะที่มีการแบ่งนิวเคลียส ใช้เวลาสั้น ๆ แล้วตามด้วยการแบ่งไซโทพลาซึม การแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิสแบ่งได้เป็น 4 ระยะ แต่ละระยะมีเหตุการณ์ที่สำคัญดังนี้

1. **ระยะโพรเฟส (prophase) : เริ่มต้นการแบ่งแบบไมโทซิส** ในระยะเริ่มต้นจะเห็นนิวเคลียสได้ชัดเจน ต่อมาเยื่อหุ้มนิวเคลียสและนิวคลีโอลัสเริ่มสลายไป โดยองค์ประกอบของนิวคลีโอลัสกระจายอยู่ในนิวเคลียส โครมาทินมีการขดตัวโดยการบิดเกลียว จึงทำให้มองเห็นโครโมโซมสั้นลงและมีขนาดใหญ่ขึ้น เริ่มสังเกตเห็นแท่งโครโมโซมที่ประกอบด้วย 2 โครมาทิดได้จากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง เซนโทรโซมทั้ง 2 ชุดเริ่มเคลื่อนแยกห่างจากกันตามความยาวของนิวเคลียสไปอยู่คนละด้านของขั้วเซลล์ มีการสร้าง**เส้นใยสปินเดิล** (spindle fiber) ซึ่งเป็นเส้นใยโปรตีนรอบเซนทริโอล ดังรูป 3.49 แต่ในเซลล์พืชไม่มีเซนทริโอล



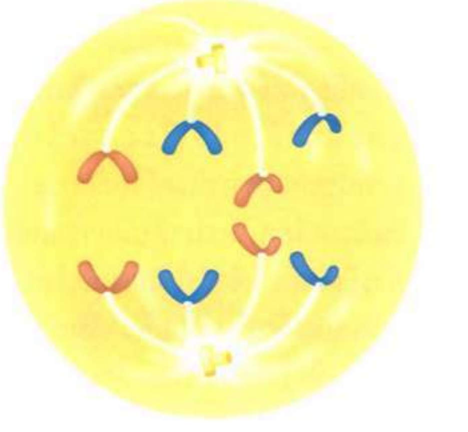
รูป 3.49 ระยะโพรเฟส

2. **ระยะเมทาเฟส (metaphase) : โครโมโซมเรียงกันบริเวณกลางเซลล์** เยื่อหุ้มนิวเคลียสสลายตัวไปหมด เซนโทรโซมเคลื่อนมาอยู่ตรงข้ามกันที่บริเวณขั้วเซลล์ทั้ง 2 ข้าง เส้นใยสปินเดิลจับกับไคนีโทคอร์บนโครโมโซม การสั้นลงของเส้นใยสปินเดิล ทำให้โครโมโซมถูกดึงจากสองข้างเท่า ๆ กัน และมาเรียงอยู่ตรงกึ่งกลางของเซลล์ในแนวระนาบเดียวกัน ซึ่งเรียกบริเวณนี้ว่า เมทาเฟสเพลท (metaphase plate) ในระยะนี้โครโมโซมมีการขดตัวมากที่สุดจึงมีขนาดใหญ่ขึ้นและสั้นจึงเห็นได้ชัดเจนที่สุด ทำให้เหมาะสมต่อการศึกษาโครโมโซม ดังรูป 3.50



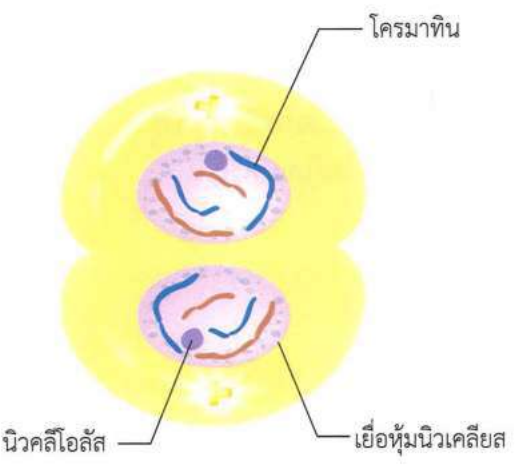
รูป 3.50 ระยะเมทาเฟส

3. **ระยะแอนาเฟส (anaphase) : การแยกกันของซิสเตอร์โครมาทิด** ระยะที่เกิดการแยกกันของซิสเตอร์โครมาทิดในทิศทางตรงกันข้ามโดยการสั้นลงของเส้นใยสปินเดิล ทำให้โครโมโซมแยกกันเป็น 2 กลุ่ม แต่ละกลุ่มจะถูกดึงไปสู่ขั้วของเซลล์ที่อยู่ตรงกันข้าม ในระยะนี้แต่ละโครโมโซมจึงประกอบด้วย 1 โครมาทิด ดังรูป 3.51



รูป 3.51 ระยะแอนาเฟส

4. **ระยะเทโลเฟส (telophase) : การเกิดนิวเคลียสใหม่ 2 นิวเคลียส** ระยะนี้เส้นใยสปินเดิลสลายตัว มีการสร้างเยื่อหุ้มนิวเคลียสและนิวคลีโอลัสขึ้นมาใหม่ โครโมโซมคลายตัวทำให้ยืดออกเป็นเส้นใยโครมาทิน เริ่มเห็นเป็น 2 นิวเคลียส ดังรูป 3.52



รูป 3.52 ระยะเทโลเฟส

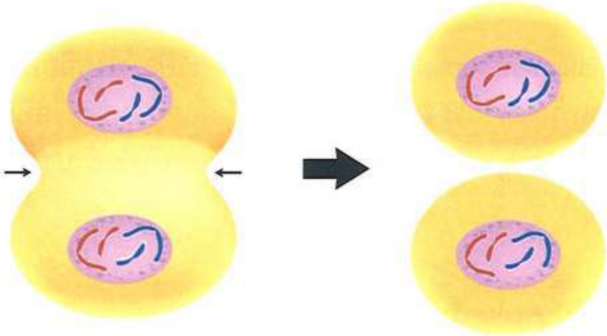
ตรวจสอบความเข้าใจ

- ? ถ้าไม่มีการสร้างเส้นใยสปินเดิลจะมีผลต่อการแบ่งเซลล์อย่างไร
- ? เซลล์ของสิ่งมีชีวิตหนึ่งในระยะอินเตอร์เฟสมี 8 โครโมโซม เมื่อสิ้นสุดกระบวนการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสแล้วเซลล์ใหม่ที่เกิดขึ้นแต่ละเซลล์มีกี่โครโมโซม

การแบ่งไซโทพลาซึม

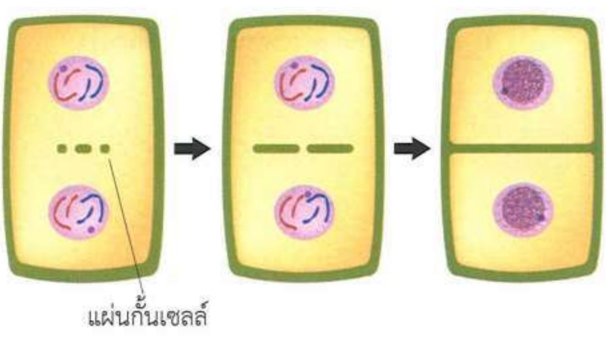
เมื่อสิ้นสุดกระบวนการแบ่งเซลล์ที่ระยะเทโลเฟสจะเกิดการแบ่งของไซไทพลาซึมตามมาทันที ซึ่งมีความแตกต่างกันระหว่างเซลล์สัตว์และเซลล์พืช ผลของการแบ่งเซลล์จะได้เซลล์ใหม่หรือเซลล์ลูก 2 เซลล์

- ในเซลล์สัตว์ การแบ่งไซโทพลาซึมเกิดจากเยื่อหุ้มเซลล์คอดเข้าหากันเกิดจากการทำงานของไมโครฟิลาเมนท์จนกระทั่งเซลล์หลุดจากกันเป็น 2 เซลล์ ดังรูป 3.53



รูป 3.53 **การแบ่งไซโทพลาซึมของเซลล์สัตว์**

- ในเซลล์พืช การแบ่งไซโทพลาซึมจะมีการสร้าง**แผ่นกั้นเซลล์** (cell plate) คั่นตรงกลางระหว่างนิวเคลียสใหม่ทั้งสอง โดยการนำเวสิเคิลที่สร้างจากกอลจิบอดีซึ่งมีสารที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ โดยเริ่มสร้างจากบริเวณตรงกลางแล้วจึงขยายไปสู่ผนังเซลล์เดิมทั้งสองข้าง ต่อมามีการสร้างสารเซลลูโลสสะสมที่แผ่นกั้นเซลล์เกิดเป็นผนังเซลล์ใหม่กั้นเซลล์เดิมออกเป็น 2 เซลล์ ดังรูป 3.54

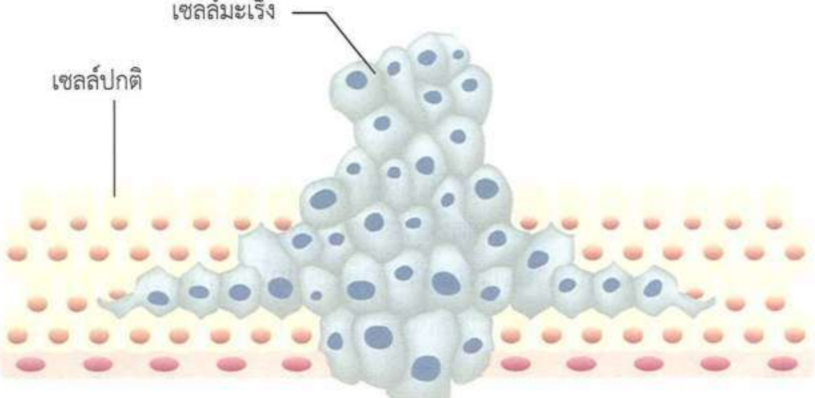


รูป 3.54 **การแบ่งไซโทพลาซึมของเซลล์พืช**

ความรู้เพิ่มเติม

ถ้าเซลล์มีการแบ่งอย่างไม่มีที่สิ้นสุดจะทำให้เกิดความผิดปกติ เช่น เนื้องอก หรือมะเร็งได้
เนื้องอก (tumor) คือ ก้อนเนื้อที่เกิดจากการแบ่งเซลล์ที่ผิดปกติ พบที่อวัยวะต่าง ๆ ถ้าเป็นก้อนเนื้อขนาดใหญ่อาจจะสร้างปัญหาได้ เนื่องจากเนื้องอกจะไปกดทับเนื้อเยื่อที่อยู่รอบ ๆ เนื้องอกนี้จะอยู่บริเวณเดิม ไม่ลุกลามหรือแพร่กระจายเข้าไปสู่เนื้อเยื่อหรืออวัยวะอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตาม เนื้องอกก็มีโอกาสกลายเป็นมะเร็งได้

เนื้องอกชนิดร้าย (malignant tumor) หรือมะเร็ง (cancer) คือ ก้อนเนื้อที่เกิดจากการแบ่งเซลล์ที่ผิดปกติแล้วลุกลามหรือแพร่กระจายเข้าไปในเนื้อเยื่ออื่นๆ ทั้งเนื้อเยื่อที่อยู่ใกล้ ๆ เซลล์มะเร็งหรือไกลออกไปผ่านระบบหมุนเวียนเลือด แล้วมีการแบ่งเซลล์เพิ่มจำนวนขึ้น ทำให้แพร่กระจายไปได้ทั่วร่างกาย

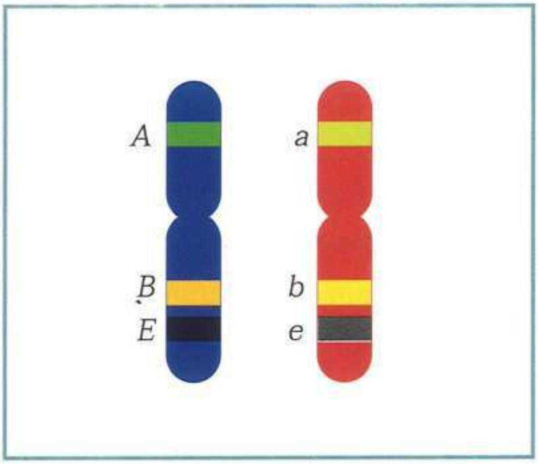


การเพิ่มจำนวนและลุกลามของเซลล์มะเร็ง

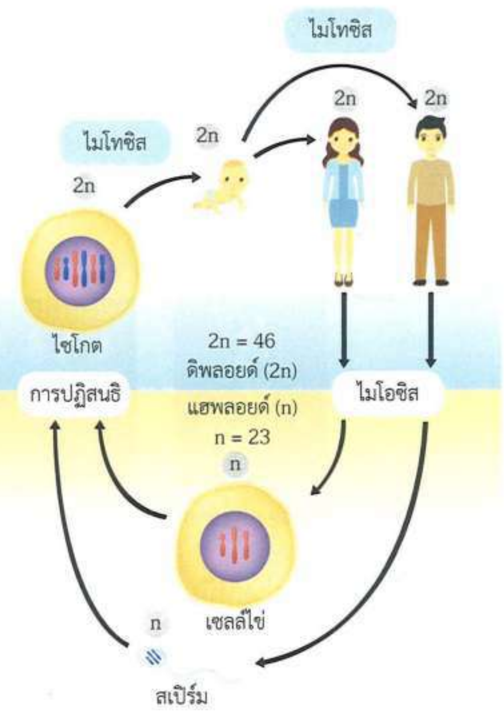
3.5.3 การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส

การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเป็นการแบ่งเซลล์เพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ในสัตว์หรือสปอร์ในพืช ผลของการแบ่งเซลล์ทำให้ได้เซลล์ลูกที่มีจำนวนโครโมโซมลดลงจากเดิมครึ่งหนึ่ง โดยฮอมอโลกัสโครโมโซมที่มียีนที่ควบคุมลักษณะเดียวกันอยู่ตำแหน่งตรงกัน เรียกว่า **โลคัส** (locus) (รูป 3.55) การที่เซลล์มีโครโมโซมคู่เหมือนกันนี้เนื่องจากได้รับการถ่ายทอดมาจากการปฏิสนธิของเซลล์ไข่และอสุจิได้เป็นไซโกตจนได้โครโมโซม 2 ชุด หรือ 2n เป็นเซลล์ดิพลอยด์ เมื่อเข้าสู่วัยเจริญพันธุ์เซลล์ในอวัยวะสืบพันธุ์จะเกิดการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส โดยเพศเมียจะได้เซลล์ไข่ที่มีโครโมโซมในนิวเคลียส 1 ชุด (n) ขณะที่เพศผู้จะได้เป็นอสุจิที่มีโครโมโซมในนิวเคลียส 1 ชุด (n) เช่นเดียวกัน หรือกล่าวได้ว่าผลที่ได้จากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสจะได้เซลล์แฮพลอยด์นั่นเอง เมื่อเซลล์สืบพันธุ์เกิดการปฏิสนธิจะได้เป็นไซโกตที่มีจำนวนโครโมโซมเป็น 2n ดังรูป 3.56

ก่อนการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส เซลล์จะมีการเตรียมความพร้อมเหมือนกับในระยะอินเตอร์เฟสของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส แต่การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสมีการแบ่งนิวเคลียส 2 ครั้ง โดยนิยมใช้เลขโรมันกำกับในแต่ละระยะ ได้แก่ **ระยะไมโอซิส I** (meiosis I) และ**ระยะไมโอซิส II** (meiosis II) ผลที่ได้จากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสจะได้เซลล์ลูกจำนวน 4 เซลล์ที่มีพันธุกรรมต่างกัน ซึ่งจะได้ศึกษาการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิสจากกิจกรรม 3.4



รูป 3.55 ฮอมอโลกัสโครโมโซมที่มียีนควบคุมลักษณะเดียวกันอยู่ตำแหน่งตรงกัน



รูป 3.56 ระยะดิพลอยด์และแฮพลอยด์ที่อยู่ในช่วงหนึ่งของวัฏจักรชีวิตมนุษย์

กิจกรรม 3.4 การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสในเซลล์พืช

จุดประสงค์

1. เตรียมสไลด์เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมในนิวเคลียสของการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสของเซลล์พืช
2. อธิบายและเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของนิวเคลียสแต่ละระยะในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส

วัสดุและอุปกรณ์

1. ช่อดอกกุยช่าย (ดอกหอมใหญ่ หรือดอกหัวใจม่วง)
2. สารละลายอะซีโทออร์ซีนหรืออะซีโทคาร์มีน ความเข้มข้น 0.5-2%
3. กระดาษเยื่อ
4. แท่งแก้วคนสาร
5. สไลด์และกระจกปิดสไลด์
6. ชุดตะเกียงแอลกอฮอล์
7. เข็มเขี่ย
8. หลอดหยด
9. กล้องจุลทรรศน์

วิธีการทำกิจกรรม

1. เลือกช่อดอกกุยช่ายมา 1 ช่อ ฉีกใบประดับออกแล้วนำดอกย่อยของกุยช่ายมาเรียงตามขนาดดังรูป



ช่อดอกกุยช่าย



ดอกกุยช่ายเรียงตามขนาด

2. เลือกดอกกุยช่ายที่มีขนาดปานกลางมา 1 ดอก แล้วใช้เข็มเขี่ย เขี่ยส่วนที่เป็นอับเรณูนำไปวางบนสไลด์ที่สะอาด ส่วนที่เป็นกลีบดอกให้ทิ้งไป
3. ใช้ปลายแท่งแก้วคนสารด้านทู่บดอับเรณูของดอกกุยช่ายให้เซลล์กระจายออกจากกัน
4. หยดสีอะซีโทออร์ซีนหรืออะซีโทคาร์มีนความเข้มข้น 0.5-2% จำนวน 1 หยด บนอับเรณู เช็ดสารละลายส่วนเกินออกด้วยกระดาษเยื่อ

5. ผ่านสไลด์เหนือเปลวไฟอย่างรวดเร็วอย่าให้เดือด แล้วปิดด้วยกระจกปิดสไลด์
6. ใช้ดินสอด้านที่มียางลบติดอยู่ กด-ปล่อยเบา ๆ บนกระจกปิดสไลด์เพื่อให้เซลล์กระจาย แล้วใช้กระดาษเยื่อซับบริเวณข้างกระจกปิดสไลด์ให้แห้ง
7. นำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ สังเกตความแตกต่างของแต่ละเซลล์ แล้วบันทึกภาพที่สังเกตได้พร้อมระบุกำลังขยายของกล้อง

คำถามท้ายกิจกรรม

? จากภาพที่สังเกตได้ โครโมโซมมีลักษณะอย่างไรบ้าง

? เพราะเหตุใดจึงใช้ดอกกุยช่ายขนาดเล็กในการศึกษา และไม่เลือกดอกที่บานแล้ว

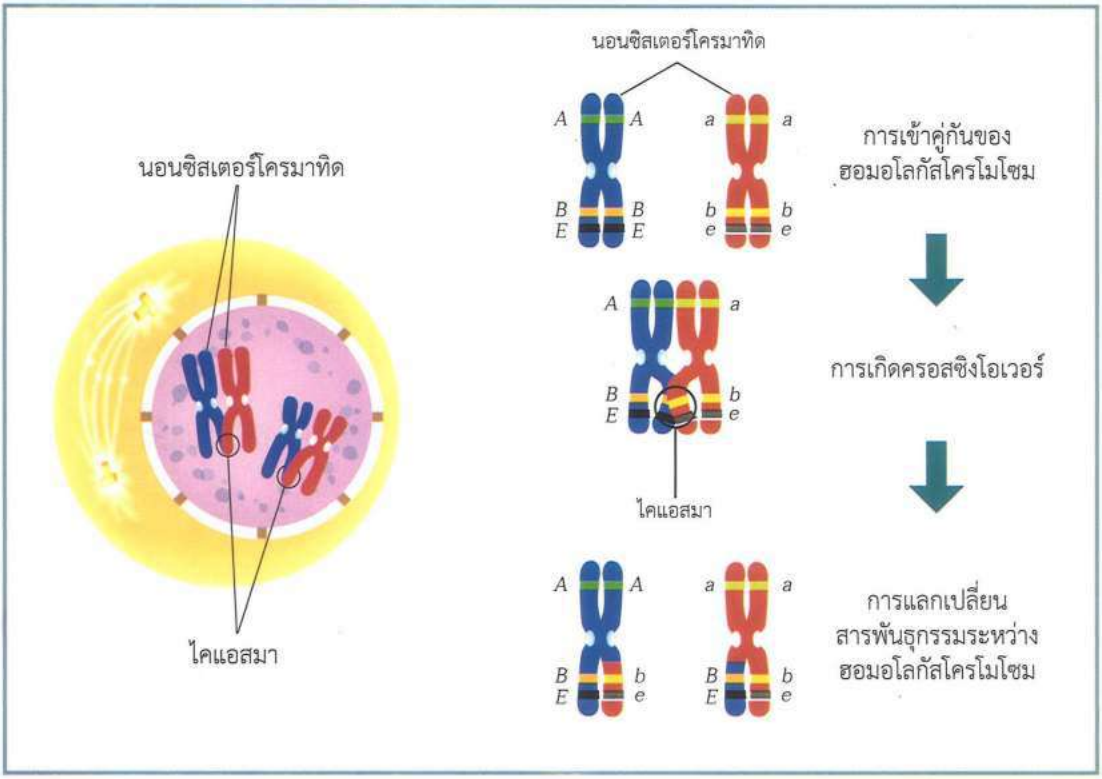
จากกิจกรรม 3.4 การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส แต่ละระยะมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ระยะอินเตอร์เฟส เซลล์มีการเตรียมพร้อมเช่นเดียวกับระยะอินเตอร์เฟสของการแบ่งแบบไมโทซิส โดยมีการจำลองตัวของ DNA เพิ่มขึ้นอีก 1 ชุด

ระยะไมโอซิส I (Meiosis I) เป็นการแยกกันของฮอมอโลกัสโครโมโซม ประกอบด้วย 4 ระยะดังต่อไปนี้

1. **ระยะโพรเฟส I** (prophase I)

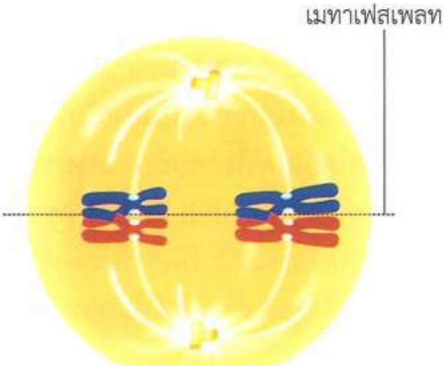
เกิดการเปลี่ยนแปลงคล้ายกับการแบ่งแบบไมโทซิส โดยโครมาทินจะขดตัวสั้นลงและหนาขึ้น เซนโทรโซมจะเคลื่อนห่างจากกันไปอยู่ด้านตรงข้ามกัน เยื่อหุ้มนิวเคลียสและนิวคลีโอลัสเริ่มสลายตัว แต่มีข้อแตกต่างจากการแบ่งแบบไมโทซิส คือ มีการเข้าคู่กันของฮอมอโลกัสโครโมโซม ทำให้แต่ละคู่ของฮอมอโลกัสโครโมโซมมี 4 โครมาทิด นอกจากนี้ยังเกิดการไขว้กันของ**นอนซิสเตอร์โครมาทิด** (non-sister chromatid) เรียกว่า **ครอสซิงโอเวอร์** (crossing over) โดยตำแหน่งที่ไขว้กันเรียกว่า **ไคแอสมา** (chiasma) เกิดการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของโครมาทิดของฮอมอโลกัสโครโมโซมเส้นที่อยู่ชิดกัน ดังรูป 3.57 เป็นผลทำให้สารพันธุกรรมถูกแลกเปลี่ยนไปด้วย



รูป 3.57 การเกิดครอสซิงโอเวอร์

2. **ระยะเมทาเฟส I** (metaphase I)

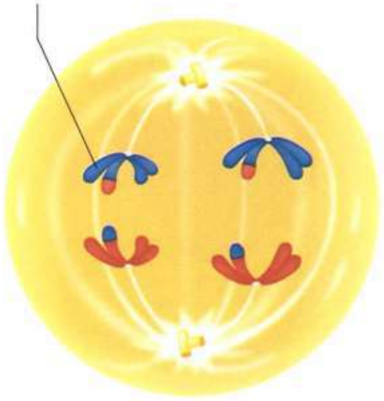
เป็นระยะที่เส้นใยสปินเดิลที่ยึดเกาะกับไคนีโทคอร์บนฮอมอโลกัสโครโมโซมสั้นลงทำให้โครโมโซมมาเรียงตัวอยู่เป็นคู่ ๆ ตามแนวระนาบของเมทาเฟสเพลท ดังรูป 3.58



รูป 3.58 ระยะเมทาเฟส I

3. **ระยะแอนาเฟส I** (anaphase I)

เป็นระยะที่มีการแยกฮอมอโลกัสโครโมโซมออกจากกันไปด้านตรงข้ามของเซลล์ โดยแต่ละโครโมโซมยังประกอบด้วย 2 โครมาทิด ดังรูป 3.59



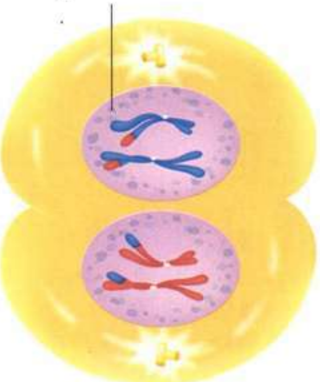
รูป 3.59 ระยะแอนาเฟส I

4. **ระยะเทโลเฟส I** (telophase I)

เป็นระยะที่มีการสร้างเยื่อหุ้มนิวเคลียสล้อมรอบโครโมโซมได้นิวเคลียสใหม่ 2 นิวเคลียส โครโมโซมเริ่มคลายตัว แต่ละโครโมโซมมี 2 โครมาทิด จำนวนโครโมโซมในระยะนี้ลดลงครึ่งหนึ่งจากเดิมหรือมีจำนวนโครโมโซมเป็นแฮพลอยด์ ดังรูป 3.60

หลังจากสิ้นสุดระยะเทโลเฟส I ในเซลล์พืชและเซลล์สัตว์จะมีการแบ่งไซโทพลาซึมเช่นเดียวกับการแบ่งแบบไมโทซิส

เมื่อสิ้นสุดระยะไมโอซิส I แล้วเซลล์ส่วนใหญ่จะมีการแบ่งไซโทพลาซึมและเตรียมพร้อมเพื่อเข้าสู่ระยะไมโอซิส II ต่อไป เรียกว่า **ระยะอินเตอร์ไคเนซิส** (interkinesis) ซึ่งในระยะนี้จะไม่มีการจำลองตัวของโครโมโซม

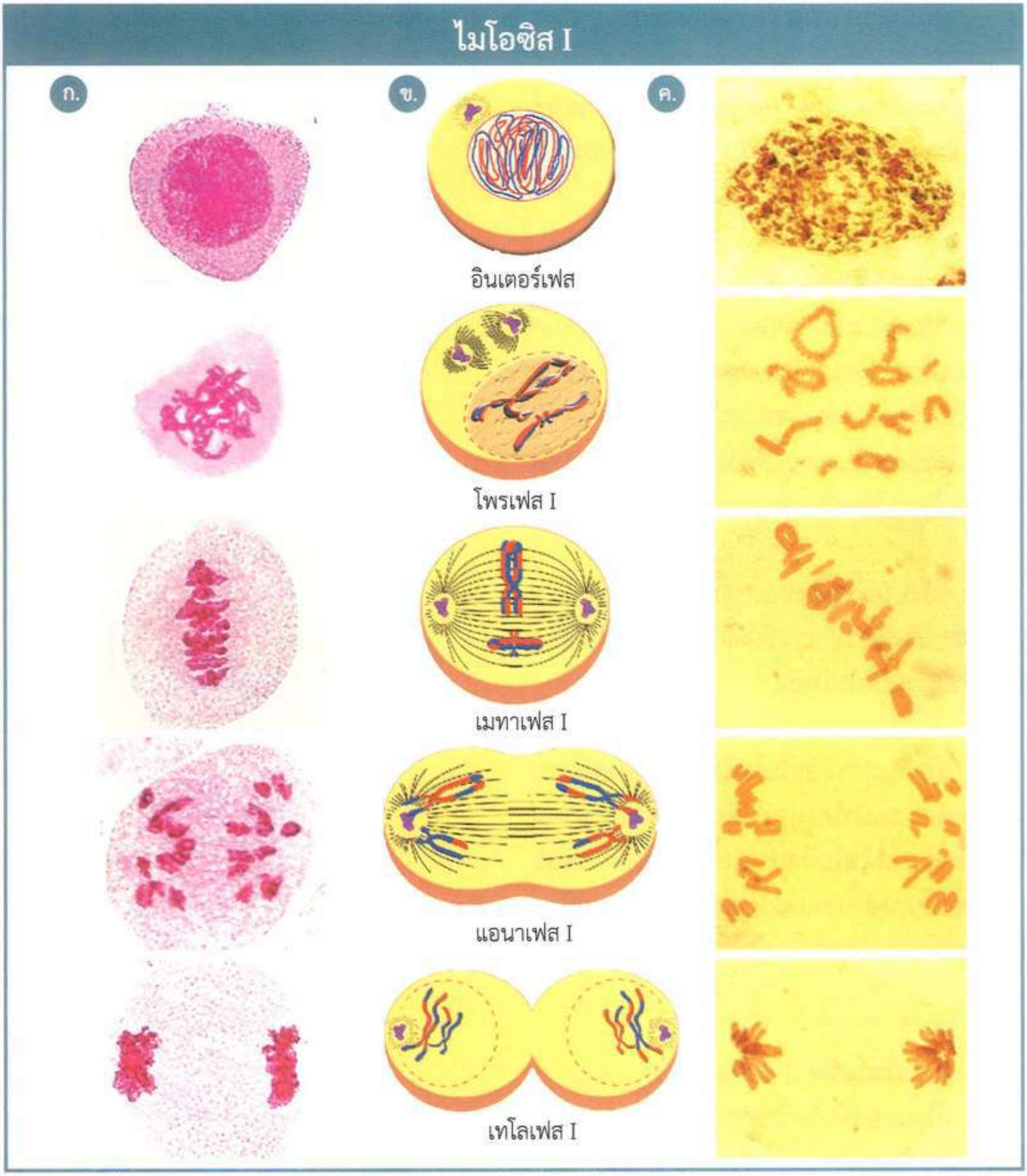


รูป 3.60 ระยะเทโลเฟส I

ระยะไมโอซิส II (Meiosis II)

เป็นระยะที่เกิดขึ้นต่อเนื่องจากระยะไมโอซิส I ประกอบด้วยระยะต่าง ๆ ดังนี้ โพรเฟส II เมทาเฟส II แอนาเฟส II และเทโลเฟส II ตามด้วยการแบ่งไซโทพลาซึมซึ่งคล้ายกับการแบ่งเซลล์แบบ ไมโทซิส โดยแอนาเฟส II มีการแยกกันของซิสเตอร์โครมาทิดเช่นเดียวกับการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส

เมื่อสิ้นสุดการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสจะได้เซลล์ลูก 4 เซลล์ โดยแต่ละเซลล์มีจำนวนโครโมโซมเป็นครึ่งหนึ่งของเซลล์แม่และมีข้อมูลพันธุกรรมต่างจากเซลล์แม่ ขั้นตอนการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสอาจสรุปได้ ดังรูป 3.61



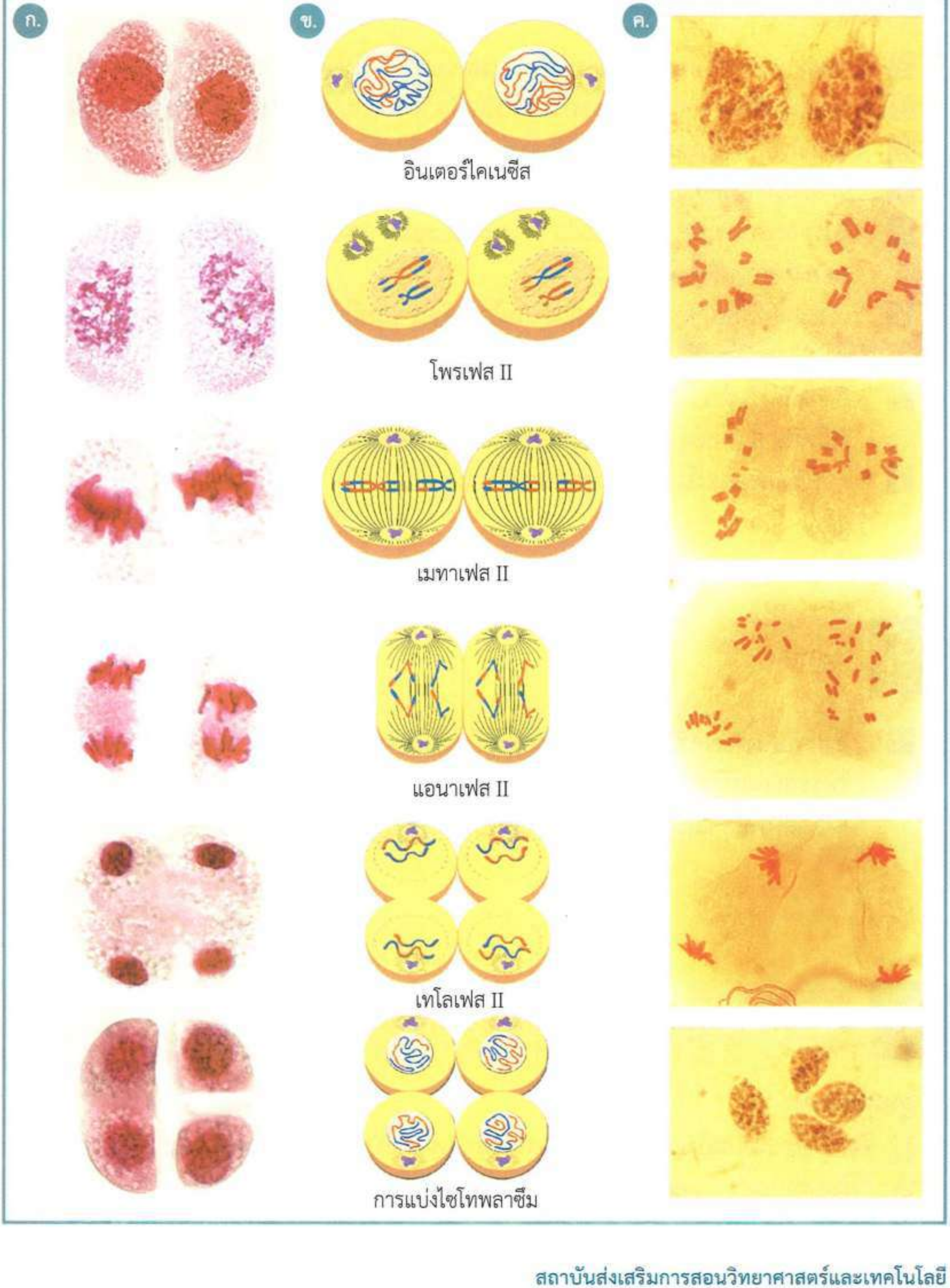
รูป 3.61 การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส

ก. ภาพถ่ายการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสของหัวใจม่วง (*Tradescantia pallida*) 2n = 24

ข. ภาพวาดการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสของเซลล์สัตว์ 2n = 4

ค. ภาพถ่ายการแบ่งเซลแบบไมโอซิสของอัณฑะตั๊กแตน (*Chorthippus* sp.)

ไมโอซิส II


ก.
ข.
ค.
อินเตอร์ไคเนซีส
โพรเฟส II
เมทาเฟส II
แอนาเฟส II
เทโลเฟส II
การแบ่งไซโทพลาซึม

ตรวจสอบความเข้าใจ

- ? ระยะโพรเฟส I แตกต่างจากระยะโพรเฟสของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสหรือไม่ อย่างไร
- ? เซลล์ลูกที่ได้จากการแบ่งเซลล์ระยะไมโอซิส II จะสามารถแบ่งเซลล์ต่อไปได้อีกหรือไม่
- ? ระยะใดที่โครโมโซมขดสั้นที่สุดและช่วงใดที่โครโมโซมลดจาก 2n เป็น n
- ? ระยะเมทาเฟส I และระยะเมทาเฟส II ต่างกันอย่างไร
- ? ในระยะแอนาเฟส I แอนาเฟส II และระยะแอนาเฟสของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส แตกต่างกันหรือไม่ อย่างไร
- ? เซลล์ลูกที่ได้จากการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสมีความเหมือนหรือแตกต่างจากการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสหรือไม่ อย่างไร
- ? ถ้าเซลล์เริ่มต้นมีจำนวนโครโมโซม 2n = 16 หลังการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส I และไมโอซิส II เซลล์ลูกจะมีจำนวนโครโมโซมเท่าใดตามลำดับ
- ? การเกิดครอสซิงโอเวอร์มีผลต่อสิ่งมีชีวิตอย่างไร

ชวนคิด

- ? ถ้าการแบ่งเซลล์เพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์มีความผิดปกติในการแยกฮอมอโลกัสโครโมโซมในระยะแอนาเฟส I หรือ ซิสเตอร์โครมาทิดในระยะแอนาเฟส II จะส่งผลอย่างไรกับเซลล์สืบพันธุ์ และหากเซลล์สืบพันธุ์นั้นเกิดการปฏิสนธิจะส่งผลอย่างไรกับไซโกต

กิจกรรมเสนอแนะ การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและแบบไมโอซิส

จุดประสงค์

1. จัดเรียงโครโมโซมในระยะต่าง ๆ ของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและแบบไมโอซิส
2. เปรียบเทียบความแตกต่างของการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิสและแบบไมโอซิส

วัสดุและอุปกรณ์

1. ดินน้ำมันสีต่างกัน จำนวน 2 สี ซึ่งแต่ละสีแทนโครโมโซมแต่ละชุด
2. กระดาษ ขนาด A4 สำหรับวาดองค์ประกอบต่าง ๆ ที่จำเป็นในการแบ่งเซลล์แต่ละระยะ

วิธีการทำกิจกรรม

1. นำดินน้ำมันมาปั้นแทนรูปโครโมโซมโดยแต่ละสีแทนโครโมโซมแต่ละชุด
2. จัดเรียงโครโมโซมในแต่ละระยะของการแบ่งเซลล์แต่ละแบบ (ไมโทซิสและไมโอซิส)
3. ให้ลองสุ่มระยะของการแบ่งเซลล์แล้วให้เพื่อนในชั้นเรียน ปั้นและจัดวางโครโมโซมให้ดู แล้วตรวจสอบว่าเพื่อนทำถูกต้องหรือไม่
   กำหนดให้ 2n = 6

การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส ทำให้เกิด**ความแปรผันทางพันธุกรรม** (genetic variation) ของประชากรในสิ่งมีชีวิตเดียวกัน จากการเกิดครอสซิงโอเวอร์ในระยะโพรเฟส I และการแยกออกจากกันของฮอมอโลกัสโครโมโซมไปยังแต่ละขั้วเซลล์ในระยะแอนาเฟส I เป็นไปอย่างสุ่ม โดยนักเรียนจะได้ศึกษารายละเอียดต่อไปในเรื่องพันธุศาสตร์

สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน

1. กล้องจุลทรรศน์เป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่ไม่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่าและรายละเอียดโครงสร้างของเซลล์

2. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบและกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโออาศัยชุดเลนส์แก้วในการทำให้เกิดภาพขยาย

3. กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบนิยมใช้ศึกษาโครงสร้างภายในของสิ่งมีชีวิตระดับเนื้อเยื่อและเซลล์ ส่วนกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอนิยมใช้ศึกษาโครงสร้างภายนอกของวัตถุที่ทึบแสง

4. การใช้กล้องจุลทรรศน์ศึกษาสิ่งมีชีวิตให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ควรมีวิธีการเตรียมตัวอย่างสิ่งมีชีวิตที่ถูกต้องและเหมาะสมกับชนิดของสิ่งมีชีวิต ร่วมกับสามารถใช้ ดูแล และเก็บรักษากล้องจุลทรรศน์ใช้แสงได้อย่างถูกวิธี

5. เซลล์เป็นหน่วยพื้นฐานที่เล็กที่สุดของสิ่งมีชีวิต โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์ประกอบด้วยส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์ ไซโทพลาซึม และนิวเคลียส

6. ส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์ที่พบในเซลล์ทุกชนิดคือ เยื่อหุ้มเซลล์ แต่ในแบคทีเรีย สาหร่าย ฟังไจ และพืช จะมีผนังเซลล์เป็นส่วนห่อหุ้มเซลล์เพิ่มเติมขึ้นมาอีกชั้นหนึ่ง

7. ไซโทพลาซึมอยู่ภายในเยื่อหุ้มเซลล์ประกอบด้วย ไซโทซอลและออร์แกเนลล์ โดยออร์แกเนลล์แต่ละชนิดมีหน้าที่เฉพาะและทำงานร่วมกันเพื่อให้เซลล์มีชีวิตและทำงานได้

8. นิวเคลียสเป็นศูนย์กลางควบคุมการทำงานของเซลล์ยูแคริโอต ประกอบด้วยเยื่อหุ้ม 2 ชั้น ซึ่งภายในมี DNA RNA และโปรตีนบางชนิด

9. เซลล์มีการลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ โดยมีการควบคุมทั้งชนิดและปริมาณสารที่ผ่านเข้าออก เยื่อหุ้มเซลล์ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่านในการลำเลียงสารดังกล่าว โดยสมบัติของสารและสมบัติของโครงสร้างต่าง ๆ ของเยื่อหุ้มเซลล์มีความสัมพันธ์กับวิธีการลำเลียงสาร เช่น การแพร่แบบธรรมดา ออสโมซิส การแพร่แบบฟาซิลิเทต แอกทีฟทรานสปอร์ต เอกโซไซโทซิส เอนโดไซโทซิส

10. ในภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอเซลล์จะมีการสลายกลูโคสผ่านกระบวนการต่าง ๆ คือ ไกลโคไลซิส การสร้างแอซิทิลโคเอนไซม์เอและวัฏจักรเครบส์ และกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน ซึ่งกระบวนการหลักทั้งสามจะเปลี่ยนพลังงานที่อยู่ในกลูโคสให้อยู่ในรูปสารพลังงานสูง คือ ATP

11. ในภาวะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอเซลล์ต้องมีกระบวนการหมักเกิดขึ้น เพื่อเปลี่ยนกรดไพรูวิกที่เกิดจากไกลโคไลซิสให้กลายเป็นกรดแลกติกหรือแอลกอฮอล์ และเปลี่ยน NADH ให้กลายเป็น NAD^+ เพื่อนำกลับเข้าสู่ไกลโคไลซิสในการสร้าง ATP ให้กับเซลล์

12. สิ่งมีชีวิตมีการแบ่งเซลล์เพื่อการเติบโต การเพิ่มจำนวนเซลล์ ทดแทนเซลล์ที่เสื่อมสภาพหรือถูกทำลายรวมทั้งเพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์

13. ฮอมอโลกัสโครโมโซม คือ โครโมโซมที่เหมือนกันเป็นคู่ ๆ เซลล์ดิพลอยด์ คือ เซลล์ที่มีจำนวนโครโมโซมของเซลล์ร่างกายที่มีลักษณะเหมือนกัน 2 ชุด เขียนแทนด้วย 2n เซลล์แฮพลอยด์ คือ เซลล์ที่มีจำนวนโครโมโซมเพียง 1 ชุด เขียนแทนด้วย n

14. การแบ่งเซลล์ของยูแคริโอต มี 2 ขั้นตอน คือ การแบ่งนิวเคลียสและการแบ่งไซโทพลาซึม ซึ่งการแบ่งนิวเคลียสแบ่งได้อีก 2 แบบ คือ การแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิสและการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิส

15. วัฏจักรเซลล์ประกอบด้วยระยะอินเตอร์เฟส และระยะที่มีการแบ่งแบบไมโทซิสรวมถึงการแบ่งไซโทพลาซึม

16. อินเตอร์เฟส เป็นระยะที่เซลล์มีการเตรียมพร้อมก่อนการแบ่งเซลล์ โดยมีการจำลองตัวของโครโมโซมและสะสมสารต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับการแบ่งเซลล์

17. การแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิสประกอบด้วย ระยะโพรเฟส ระยะเมทาเฟส ระยะแอนาเฟส และระยะเทโลเฟสแล้วตามด้วยการแบ่งไซโทพลาซึม

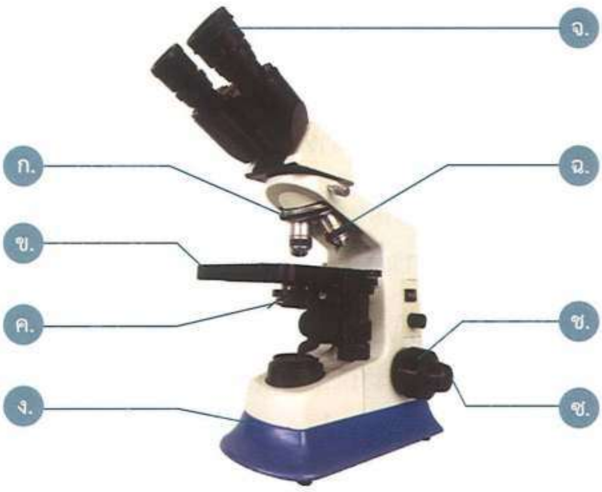
18. การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส ทำให้ได้เซลล์ลูกจำนวน 2 เซลล์ โดยแต่ละเซลล์ยังคงมีจำนวนโครโมโซมเท่าเดิมและมีข้อมูลพันธุกรรมเหมือนกับเซลล์แม่ทุกประการ และยังคงสามารถเข้าสู่วัฏจักรเซลล์ได้ต่อไปขึ้นกับชนิดเซลล์

19. การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสเป็นการแบ่งเซลล์เพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ ประกอบด้วยระยะไมโอซิส I และระยะไมโอซิส II โดยทั้งสองระยะนี้ แบ่งได้เป็นอีก 4 ระยะย่อย คล้ายกับการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส แต่ในระยะไมโอซิส I มีครอสซิงโอเวอร์เกิดขึ้นในระยะโพรเฟส I และมีการแยกกันของฮอมอโลกัสโครโมโซม เมื่อสิ้นสุดการแบ่งเซลล์ในระยะไมโอซิส I จะได้เซลล์ลูก 2 เซลล์ซึ่งแต่ละเซลล์มีจำนวนโครโมโซมลดลงครึ่งหนึ่ง ส่วนระยะไมโอซิส II มีการแยกออกจากกันของซิสเตอร์โครมาทิดจนได้เซลล์ลูก 4 เซลล์ เซลล์ลูกนี้จะมีข้อมูลพันธุกรรมต่างจากเซลล์แม่

20. การแบ่งไซโทพลาซึมในเซลล์พืชจะสร้างแผ่นกั้นเซลล์ แต่เซลล์สัตว์จะเป็นการคอดเข้าหากันของเยื่อหุ้มเซลล์จนแยกออกจากกันเป็น 2 เซลล์

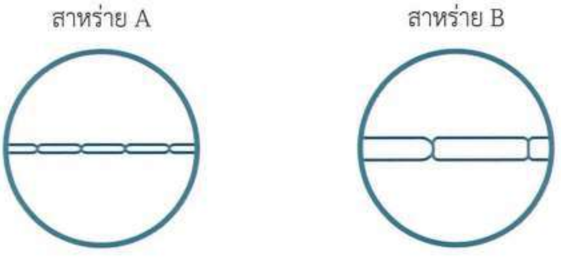
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 3

1. จากภาพกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ จงนำตัวอักษรที่แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของกล้อง เติมในช่องว่างหน้าข้อความที่ระบุถึงหน้าที่ให้ถูกต้อง



.... 1.1 หมุนเปลี่ยนกำลังขยายของเลนส์ใกล้วัตถุ
.... 1.2 ปรับปริมาณแสงที่จะผ่านไปยังวัตถุ
.... 1.3 ขยายภาพของวัตถุทำให้เกิดภาพจริงหัวกลับ
.... 1.4 ทำให้เกิดภาพขยายเป็นภาพเสมือนหัวกลับ
.... 1.5 ปรับภาพให้เห็นชัดเจนขึ้นเมื่อใช้กับเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 40× ขึ้นไป

2. นำสาหร่าย 2 ชนิด มาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงกล้องเดียวกัน ได้ผลดังภาพ



สาหร่าย	กำลังขยายของเลนส์ใกล้ตา	กำลังขยายของเลนส์ใกล้วัตถุ
A	10×	4×
B	10×	10×

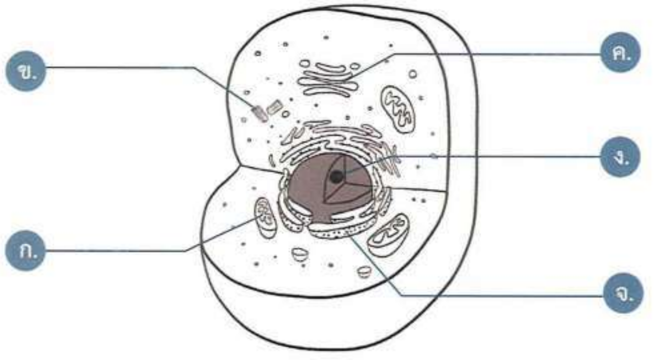
เซลล์ของสาหร่ายชนิดใดมีความยาวของแต่ละเซลล์มากกว่า เพราะเหตุใด

3. จากการสังเกตไม้บรรทัดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบที่มีกำลังขยาย 100 เท่า พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของจอภาพยาว 1.6 มิลลิเมตร เมื่อนำพารามีเซียมมาศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 400 เท่า พบว่า พารามีเซียมยาว ¼ ของเส้นผ่านศูนย์กลางของจอภาพ ดังนั้น พารามีเซียมมีความยาวเท่าใด ให้แสดงวิธีทำ

4. ในการศึกษาตัวอย่างที่กำหนดให้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ให้ใส่เครื่องหมาย √ ในช่องชนิดของกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ศึกษาให้ถูกต้อง

ตัวอย่างที่ศึกษา	กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ	กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ
1. นิวเคลียสของสไปโรไจรา		
2. การไหลเวียนของไซโทพลาซึมของเซลล์สาหร่ายหางกระรอก		
3. ลักษณะภายนอกของด้วง		
4. การงอกของหลอดเรณูอย่างต่อเนื่องที่ระยะเวลาต่าง ๆ ของดอกแพงพวยฝรั่ง (เรณูของดอกแพงพวยฝรั่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 ไมโครเมตร)		
5. การผ่าตัดไส้เดือนดินตลอดความยาวของลำตัว		
6. ฟาโกไซโทซิสของแมคโครฟาจ		

5. จากภาพแสดงโครงสร้างของเซลล์ จงนำตัวอักษรที่ชี้แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเซลล์ใส่ลงในช่องว่างหน้าข้อความที่มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด



.... 5.1 บริเวณที่มีการสร้างไรโบโซม
.... 5.2 ทำหน้าที่เติมกลุ่มคาร์โบไฮเดรตให้กับโปรตีนหรือลิพิดที่ส่งมาจาก ER
.... 5.3 แหล่งผลิตสารพลังงานสูงให้แก่เซลล์
.... 5.4 แหล่งสร้างโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์
.... 5.5 พบในเซลล์สัตว์และสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว ไม่พบในเซลล์พืชและเห็ดรา

6. จากตารางร้อยละของพื้นที่ผิวของเยื่อหุ้มในส่วนต่าง ๆ ของเซลล์ตับหนู (rat liver cell)

เยื่อหุ้มในส่วนต่าง ๆ ของเซลล์	ร้อยละของพื้นที่ผิว
เยื่อหุ้มเซลล์	1.81
เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมแบบผิวขรุขระ	30.98
เยื่อหุ้มชั้นนอกของไมโทคอนเดรีย	7.61
เยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย	40.35
นิวเคลียส	0.29
ไลโซโซม	0.11
ส่วนประกอบส่วนที่เหลือภายในเซลล์	18.85
รวม	100.00

จงตอบคำถามต่อไปนี้

6.1 เพราะเหตุใดไมโทคอนเดรียจึงมีร้อยละของพื้นที่ผิวของเยื่อหุ้มชั้นนอกและเยื่อหุ้มชั้นในแตกต่างกัน และมีความเหมาะสมกับหน้าที่และการทำงานอย่างไร จงอธิบาย

6.2 เพราะเหตุใดเซลล์ตับจึงมีร้อยละของพื้นที่ผิวของเอนโดพลาสมิกเรติคูลัมแบบผิวขรุขระมากเป็นอันดับสอง รองจากเยื่อหุ้มชั้นในของไมโทคอนเดรีย

6.3 เมื่อศึกษาร้อยละของพื้นที่ผิวในเซลล์ชนิดอื่น จะพบร้อยละของพื้นที่ผิวในส่วนต่าง ๆ ของเซลล์ สอดคล้องกับเซลล์ตับหรือไม่ เพราะเหตุใด

7. นำชื่อโครงสร้างของเซลล์ที่กำหนดให้ต่อไปนี้ เติมลงหน้าข้อความที่มีความสัมพันธ์กัน

Cell membrane	Cell wall	Centriole	Chloroplast
Contractile vacuole	Free ribosome	Golgi complex	Lysosome
Microfilament	Microtubule	Mitochondria	Peroxisome
Plastid	RER	SER	

......................7.1 แหล่งสร้างโปรตีนสำหรับใช้ภายในเซลล์

......................7.2 โครงสร้างที่ประกอบด้วยเอนไซม์ไฮโดรเลสชนิดต่าง ๆ เพื่อย่อยโปรตีน

......................7.3 โครงสร้างที่ประกอบด้วยเอนไซม์ที่ใช้ในการสลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้กลายเป็นออกซิเจนและน้ำ

......................7.4 โครงสร้างที่ทำหน้าที่สร้างสารพลังงานสูงในรูป ATP ให้แก่เซลล์

......................7.5 การจัดเรียงตัวแบบฟลูอิดโมเซอิกโมเดล

......................7.6 โครงสร้างที่ประกอบด้วยสารสีชนิดต่าง ๆ

......................7.7 โครงสร้างที่รักษาสมดุลของน้ำในพารามีเซียม

......................7.8 โครงสร้างที่ยึดและลำเลียงออร์แกเนลล์ภายในเซลล์

......................7.9 โครงสร้างที่ประกอบด้วยเซลลูโลส บางบริเวณพบพลาสโมเดสมาตา

......................7.10 แหล่งสร้างสารอาหารของเซลล์พืชและโพรทิสต์บางชนิด

......................7.11 ออร์แกเนลล์ที่พบเฉพาะในเซลล์สัตว์เท่านั้น

......................7.12 โครงสร้างที่เกี่ยวกับการสังเคราะห์ฮอร์โมนเพศชาย (testosterone) ซึ่งเป็นสเตอรอยด์ฮอร์โมน

......................7.13 แหล่งที่สร้างโปรตีนเพื่อส่งออกไปใช้นอกเซลล์หรือเป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์

......................7.14 โครงสร้างที่เกิดจากโปรตีนแอกทิน ทำหน้าที่สำคัญในการเปลี่ยนรูปร่างของเซลล์

......................7.15 โครงสร้างที่ทำหน้าที่รวบรวมโปรตีนให้เข้มข้น และเติมคาร์โบไฮเดรตให้กับโปรตีนเป็นแกรนูลเพื่อส่งออกนอกเซลล์

8. สีนิวทรัลเรดเป็น indicator ที่มีสีแดงที่ค่า pH ต่ำกว่า 7.4 และมีสีเหลืองที่ค่า pH สูงกว่า 7.4 เมื่อนำน้ำกลั่นและสารละลายของเบส 3 ชนิด มาเติมสีนิวทรัลเรดจากนั้นใส่เซลล์ยีสต์ที่ยังมีชีวิตลงไป ได้ผลดังตาราง

ที่	สาร	สีของสารละลายหลังเติมสีนิวทรัลเรด	สีในเซลล์ของยีสต์หลังเติมยีสต์ลงในสารละลาย
1	น้ำกลั่น	สีแดง	สีแดง
2	0.01 M Na_2CO_3	สีเหลือง	สีแดง
3	0.01 M NaOH	สีเหลือง	สีแดง
4	0.01 M NH_4OH	สีเหลือง	สีเหลือง

เยื่อหุ้มเซลล์ของยีสต์เป็นเยื่อที่เลือกให้ไอออนในการทดลองชนิดใดผ่าน เพราะเหตุใด

9. นำตัวอักษร A-E ไปเติมในช่องว่างหน้ากรณีการลำเลียงสารที่สัมพันธ์กัน (เลือกเติม 1 คำตอบ ต่อ 1 กรณี)

......................9.1 น้ำเข้าเซลล์รากขนอ่อน

......................9.2 กรดไขมันเข้าสู่เซลล์บุผิวลำไส้เล็ก

......................9.3 กรดแอมิโนเข้าสู่เซลล์บุผิวลำไส้เล็ก

......................9.4 การนำแบคทีเรียเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดขาว

......................9.5 การลำเลียงคลอไรด์ไอออน (Cl^-) เข้า และไฮโดรเจนคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) ออกจากเซลล์เม็ดเลือดแดงที่บริเวณปอด

A. ฟาโกไซโทซิส

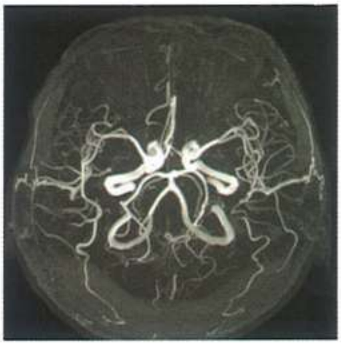
B. ใช้พลังงานจาก ATP

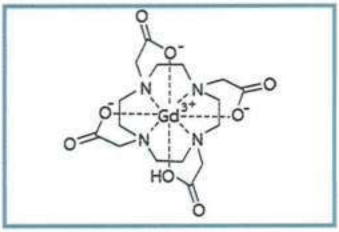
C. เกิดโดยการแพร่แบบธรรมดา

D. เกิดผ่านโปรตีนที่มีความจำเพาะต่อสาร

E. เกิดจากบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นสูง

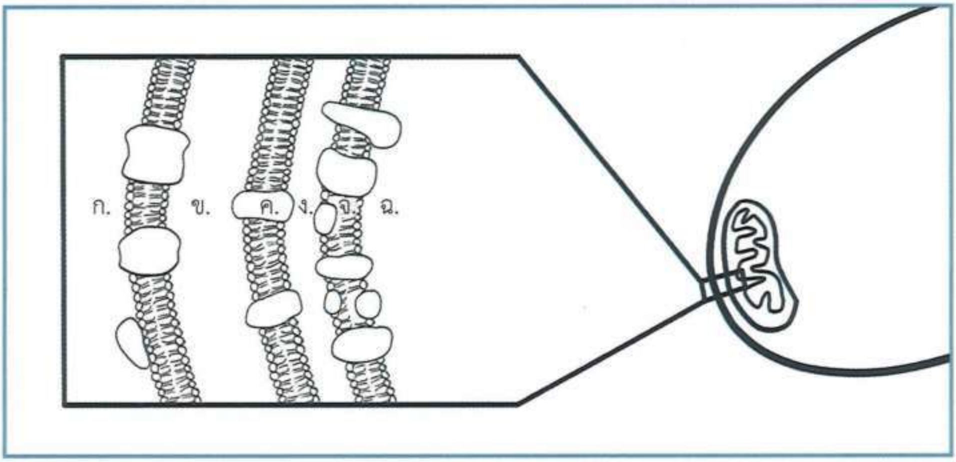
10. ในการตรวจวินิจฉัยหลอดเลือดด้วยเทคนิค MRI (Magnetic Resonance Imaging) จะมีการฉีดสารที่เพิ่มความชัดเจนระหว่างหลอดเลือดและเนื้อเยื่ออื่น ๆ เช่น gadoteric acid ให้ผู้เข้ารับการตรวจ โดยสารที่เพิ่มความชัดเจนระหว่างหลอดเลือดและเนื้อเยื่ออื่น ๆ ที่ดีนั้น ต้องคงอยู่ภายในหลอดเลือดและไม่ถูกลำเลียงเข้าสู่เซลล์หลังการฉีด จากโครงสร้างโมเลกุลของ gadoteric acid ดังภาพ นักเรียนคิดว่าสารนี้มีสมบัติเหมาะสมต่อการนำไปใช้ในกรณีดังกล่าวอย่างไร





โครงสร้างโมเลกุลของ gadoteric acid

11. จากภาพเป็นโครงสร้างบางส่วนของเซลล์ยีสต์ในสารละลายกลูโคส จงนำตัวอักษรเติมลงในช่องว่างหน้าข้อความที่มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด (อาจมีคำตอบได้มากกว่า 1 คำตอบ)



......................11.1 บริเวณใดบ้างที่สามารถตรวจพบกลูโคสได้

......................11.2 ในภาวะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอ จะเกิดการสลายสารอาหารบริเวณใดบ้าง

......................11.3 บริเวณใดบ้างที่มีการสร้าง NADH และ $FADH_2$ ในปริมาณมาก

......................11.4 บริเวณใดบ้างที่พบโปรตีนประเภทต่าง ๆ ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับและส่งอิเล็กตรอนในการสร้าง ATP

......................11.5 บริเวณใดที่มีการสะสมโปรตอน (H^+) มากขณะที่มีการหายใจระดับเซลล์ในภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอ

......................11.6 ในภาวะที่เซลล์เกิดกระบวนการหมักจะพบการสร้างแอลกอฮอล์และคาร์บอนไดออกไซด์ที่บริเวณใด

12. การผลิตไวน์ผลไม้ในประเทศไทยนิยมนำยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* มาใช้เป็นหัวเชื้อในกระบวนการหมักเพื่อให้ได้แอลกอฮอล์ กระบวนการหมักไวน์จะทำในภาชนะปิดสนิทเพื่อไม่ให้อากาศจากภายนอกเข้าไปภายในระบบ ซึ่งจะหมักไว้จนกว่าน้ำตาลในผลไม้ถูกใช้ไปจนเกือบหมดและได้ปริมาณแอลกอฮอล์ประมาณ 10-14 % โดยปริมาตร จึงจะถือว่าเสร็จสิ้นกระบวนการหมักไวน์

จากตารางการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบต่าง ๆ ระหว่างการหมักไวน์ผลไม้เป็นระยะเวลา 14 วัน จงตอบคำถามต่อไปนี้

เวลาการหมัก (วัน)	ปริมาณน้ำตาล (องศาบริกซ์*)	ปริมาณยีสต์ ($\times 10^7$ เซลล์ต่อ mL)	ปริมาณแอลกอฮอล์ (% โดยปริมาตร)
0	22.5	0.20	0.0
2	20.0	0.88	1.6
4	14.5	5.60	11.6
6	10.7	9.20	12.9
8	8.0	11.30	13.7
10	8.0	9.65	13.9
12	7.8	8.80	13.9
14	7.8	8.85	13.9

(*หมายเหตุ ตัวเลขที่มากในหน่วย องศาบริกซ์ แสดงว่ามีน้ำตาลมาก)

12.1 เพราะเหตุใดจึงมีปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นอย่างมากในวันที่ 4 ของการหมักแต่พบได้น้อยมากในช่วง 2 วันแรกของการหมัก

12.2 ถ้ากลุ่มแม่บ้านที่ผลิตไวน์ผลไม้ต้องการนำไวน์ที่หมักได้ไปวางขาย ควรแนะนำให้กลุ่มแม่บ้านหมักไวน์ผลไม้ไม่เกินกี่วัน เพราะเหตุใด

12.3 ถ้าต้องการผลิตเซลล์ยีสต์ให้ได้ปริมาณมาก ๆ เพื่อใช้เป็นหัวเชื้อในการหมักไวน์ผลไม้ในการผลิตครั้งต่อไป จะปรับเปลี่ยนวิธีการข้างต้นอย่างไร

13. วัตถุประสงค์ของการแบ่งเซลล์ในสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์เหมือนหรือแตกต่างจากสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวอย่างไร

14. จงเติมคำที่กำหนดให้ต่อไปนี้ลงในช่องว่างหน้าข้อความให้มีความสัมพันธ์กันถูกต้อง

อินเตอร์เฟส	เซลล์พืช	เซลล์สัตว์	ไมโทซิส
ไมโอซิส	โพรเฟส I	โพรเฟส II	เมทาเฟส I
เมทาเฟส II	แอนาเฟส	แอนาเฟส II	เทโลเฟส

......................14.1 ระยะที่ฮอมอโลกัสโครโมโซมแยกออกจากกันไปด้านตรงข้ามของเซลล์

......................14.2 การแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของโครมาทิด

......................14.3 ระยะที่ฮอมอโลกัสโครโมโซมเริ่มจับคู่กันและมีการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของโครมาทิด

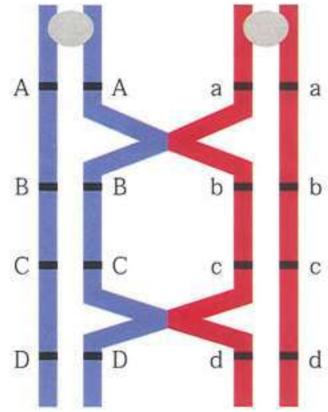
......................14.4 เซลล์ลูกที่ได้จำนวนโครโมโซมเท่ากับเซลล์แม่

......................14.5 เซลล์ลูกที่ได้มีจำนวนโครโมโซมลดลงเป็นครึ่งหนึ่งของเซลล์แม่

......................14.6 เซลล์มีการจำลองตัวของโครโมโซมโดยสังเคราะห์ DNA ขึ้นมาอีก 1 ชุด

......................14.7 การสร้างแผ่นกั้นเซลล์แบ่งเซลล์ออกเป็น 2 เซลล์

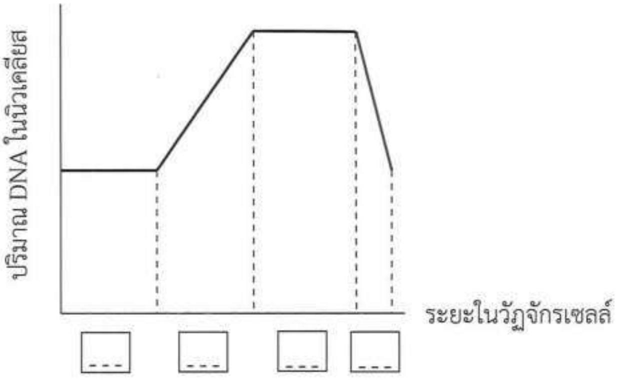
15. จากภาพ จงตอบคำถามให้ถูกต้อง



15.1 ภาพนี้มักเกิดในการแบ่งเซลล์แบบใดและอยู่ในระยะใดของการแบ่งเซลล์

15.2 จงวาดโครโมโซมในเซลล์ลูกที่ได้หลังจากสิ้นสุดกระบวนการแบ่งเซลล์อย่างสมบูรณ์ พร้อมระบุยีนบนโครโมโซม

16. จากกราฟแสดงปริมาณ DNA ของเซลล์ชนิดหนึ่งในวัฏจักรเซลล์ จงนำระยะ G_1 S G_2 M ใส่ลงในกล่องสี่เหลี่ยมใต้ภาพและตอบคำถามให้ถูกต้อง



16.1 ระยะที่เซลล์มีการจำลองตัวของโครโมโซม คือ ระยะใด

16.2 ระยะที่เซลล์เกิดการสังเคราะห์ DNA คือ ระยะใด

16.3 ระยะที่มีการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส คือ ระยะใด

16.4 ถ้าพบเซลล์จำนวนหนึ่งมีปริมาณ DNA เป็นครึ่งหนึ่งของเซลล์อื่น ๆ เซลล์ชนิดนี้ควรอยู่ในระยะใด

ภาคผนวก

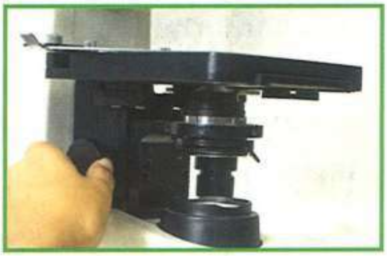
วิธีใช้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง

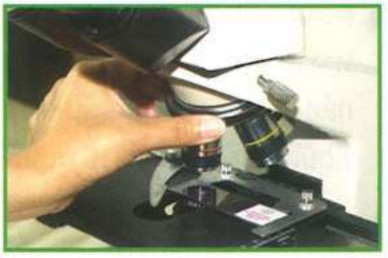
กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ

ขั้นตอน	ภาพประกอบ
การเคลื่อนย้ายกล้อง	
ใช้มือข้างหนึ่งจับแขนกล้อง มืออีกข้างรองใต้ฐานกล้อง รักษาระดับให้กล้องอยู่ในสภาพตั้งตรงตลอดการเคลื่อนย้าย เพื่อป้องกันการลื่นหลุดของเลนส์ใกล้ตา	
ไม่เคลื่อนย้ายกล้องจุลทรรศน์โดยลากไปบนโต๊ะ เพราะแรงกระเทือนอาจมีผลต่อระบบเลนส์ได้	
วางกล้องจุลทรรศน์ให้ห่างจากขอบโต๊ะปฏิบัติการพอสมควรที่จะทำงานได้สะดวก	

ขั้นตอน	ภาพประกอบ
ก่อนเริ่มใช้กล้อง ให้ตรวจสอบกล้องจุลทรรศน์ดังต่อไปนี้	
• สายไฟถูกพับเก็บ หรือพันอยู่กับฐานกล้อง • สวิตช์เปิดปิดหลอดไฟที่ฐานอยู่ในตำแหน่ง "ปิด" • สวิตช์เพิ่มความเข้มของแสงอยู่ที่ตำแหน่งต่ำสุด • แท่นวางวัตถุอยู่ในตำแหน่งต่ำสุด กรณีที่แท่นวางวัตถุมีตัวเลื่อนสไลด์ต้องปรับตำแหน่งให้แกนของตัวเลื่อนสไลด์ยื่นออกมาจากแท่นวางวัตถุให้น้อยที่สุด • หมุนแป้นที่เลนส์ใกล้วัตถุติดอยู่ในตำแหน่งที่ไม่มีเลนส์ หรือตำแหน่งที่มีเลนส์ใกล้วัตถุที่มีกำลังขยายต่ำสุดตรงกับช่องรับแสงกลางแท่นวางวัตถุ	
• หากเป็นกล้องจุลทรรศน์ที่สามารถปรับระยะห่างระหว่างตาและปรับแก้สายตาสั้นยาวได้ ต้องเลื่อนเลนส์ใกล้ตาให้เข้ามาใกล้กันมากที่สุด และหมุนให้ตัวแก้สายตาสั้นยาวอยู่ในตำแหน่ง "0"	

ขั้นตอน	ภาพประกอบ
การใช้กล้องส่องดูวัตถุ	
1. คลี่สายไฟออก นำไปเสียบกับแหล่งจ่ายไฟ	
2. กดหรือเลื่อนสวิตช์กล้องจุลทรรศน์ไปยังตำแหน่ง “เปิด” เพื่อเปิดหลอดไฟที่ฐาน	
3. หมุนแป้นที่เลนส์ใกล้วัตถุติดอยู่เพื่อเปลี่ยนกำลังขยายของเลนส์ใกล้วัตถุ โดยให้เลนส์ที่มีกำลังขยายต่ำสุดอยู่ตรงกับช่องรับแสงกลางแท่นวางวัตถุ เมื่อเลนส์ใกล้วัตถุเลื่อนไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง จะมีเสียงคลิ๊กเบา ๆ	
4. หมุนสวิตช์ปรับความเข้มของแสงให้อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลาง	

ขั้นตอน	ภาพประกอบ
5. กรณีที่เลนส์รวมแสงเลื่อนได้ ให้เลื่อนให้สูงที่สุดแต่ระวังไม่ให้ชนกับสไลด์ที่วางอยู่บนแท่นวางวัตถุ เปิดไดอะแฟรมให้กว้างที่สุด สังเกตการเปลี่ยนแปลงระหว่างการเปิด-ปิดไดอะแฟรมโดยมองผ่านเลนส์ใกล้ตา จากนั้นปรับไดอะแฟรมเล็กน้อยให้ช่องรับแสงแคบลง	 ก่อนเลื่อนเลนส์รวมแสง  เลื่อนเลนส์รวมแสง
6. มองผ่านเลนส์ใกล้ตาโดยลืมตาทั้งสองข้างแล้วปรับระยะห่างระหว่างตาจนภาพเห็นซ้อนกันเป็นภาพเดียว สำหรับกล้องจุลทรรศน์ที่มีเลนส์ใกล้ตา 1 อัน ให้มองด้วยตาข้างที่ถนัดโดยลืมตาทั้งสองข้างเช่นเดียวกัน หมายเหตุ ไม่ควรหลับตาข้างใดข้างหนึ่งขณะส่องกล้อง เพราะอาจทำให้ปวดตา	
7. วางสไลด์ที่จะศึกษาบนแท่นวางวัตถุ ให้ยึดสไลด์เข้ากับที่จับของตัวเลื่อนสไลด์ แล้วเลื่อนไปทางซ้าย-ขวา และ เข้าหาตัว-ออกจากตัว เพื่อสังเกตทิศทางการเคลื่อนของภาพ จากนั้นเลื่อนสไลด์ให้บริเวณที่ต้องการศึกษาไปอยู่ตรงกลางช่องของแท่นวางวัตถุที่แสงผ่านขึ้นมาจากด้านล่าง	

ขั้นตอน	ภาพประกอบ
8. หมุนปุ่มปรับภาพหยาบให้สไลด์ใกล้กับเลนส์ใกล้วัตถุมากที่สุด แต่ไม่ชนกับเลนส์ใกล้วัตถุ **ทุกครั้งที่หมุนปุ่มปรับภาพหยาบต้องระวังไม่ให้สไลด์ชนกับเลนส์ใกล้วัตถุเสมอ**	
9. มองผ่านเลนส์ใกล้ตาพร้อมกับหมุนปุ่มปรับภาพหยาบให้ภาพชัดเจนมากที่สุด	
10. หมุนปุ่มปรับภาพละเอียดและอาจปรับความเข้มแสงหรือปรับไดอะแฟรมจนได้ภาพที่ชัดเจน	
11. ถ้าหากต้องการเพิ่มกำลังขยายของเลนส์ใกล้วัตถุให้สูงขึ้น ต้องเลื่อนสไลด์ให้บริเวณที่ต้องการศึกษาอยู่ตรงกลางของจอรับภาพ แล้วใช้มือหมุนแป้นที่เลนส์ใกล้วัตถุติดอยู่เพื่อให้เลนส์กำลังขยายสูงในลำดับถัดไปอยู่ในแนวแสง	 ใช้มือหมุนแป้นที่เลนส์ใกล้วัตถุติดอยู่  เลนส์กำลังขยายสูงในลำดับถัดไปอยู่ในแนวแสง

ขั้นตอน	ภาพประกอบ
12. ปรับภาพให้ชัดเจนโดยใช้ปุ่มปรับภาพละเอียดเช่นเดิม ข้อควรระวังกรณีใช้เลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 40× และ 100× ห้ามปรับปุ่มปรับภาพหยาบเพราะจะทำให้เลนส์ใกล้วัตถุชนกับสไลด์	
13. ถ้าหากต้องการเพิ่มกำลังขยายของเลนส์ใกล้วัตถุให้สูงเป็น 100× ควรตรวจสอบความชัดเจนของภาพอีกครั้ง จากนั้นหมุนแป้นให้ส่วนกึ่งกลางระหว่างเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 40× และ 100× มาตรงกับตำแหน่งแสงผ่าน แล้วหยดน้ำมันที่ใช้กับกล้องจุลทรรศน์ลงไปบนกระจกปิดสไลด์ของตัวอย่างที่กำลังศึกษาก่อนแล้วจึงหมุนเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 100× ให้แตะกับน้ำมัน หลังจากใช้เลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 100× แล้วให้เลื่อนแท่นวางวัตถุลง	 หมุนแป้นให้ส่วนกึ่งกลางระหว่างเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 40× และ 100× มาตรงกับตำแหน่งแสงผ่าน  หยดน้ำมันที่ใช้กับกล้องจุลทรรศน์ลงไปบนกระจกปิดสไลด์ของตัวอย่างที่กำลังศึกษา  หมุนเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 100× ให้แตะกับน้ำมัน

ขั้นตอน	ภาพประกอบ
14. ถ้าต้องการศึกษาตัวอย่างใหม่ให้เลื่อนแท่นวางวัตถุลงแล้ว เริ่มดูตัวอย่างใหม่ด้วยเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยายต่ำสุด	

กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ

การเคลื่อนย้ายกล้อง

ทำเช่นเดียวกับกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ

ก่อนเริ่มใช้กล้อง ให้ตรวจสอบกล้องจุลทรรศน์ดังต่อไปนี้

- สายไฟถูกพับเก็บ หรือพันอยู่กับฐานของกล้อง

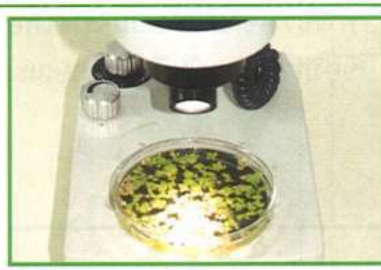


- สวิตช์เปิดปิดหลอดไฟที่ฐานอยู่ในตำแหน่ง “ปิด”
- ปุ่มเพิ่มความเข้มของแสงอยู่ที่ตำแหน่งต่ำสุด



- แท่นวางวัตถุเป็นกระจกใสหรือมีแผ่นทึบแสงอยู่ในช่องวงกลม



ขั้นตอน	ภาพประกอบ
• เลนส์ใกล้วัตถุอยู่ที่ตำแหน่งกำลังขยายต่ำสุด	
การใช้กล้องส่องดูวัตถุที่ทึบแสงและมีขนาดใหญ่	
1. คลี่สายไฟออก นำไปเสียบกับแหล่งจ่ายไฟ	
2. เปิดสวิตช์กล้องจุลทรรศน์เพื่อเปิดหลอดไฟที่ฐานหรือด้านบนไปยังตำแหน่ง “เปิด”	
3. นำตัวอย่างที่ต้องการศึกษา เช่น แมลงที่มีขนาดเล็กทั้งตัว หรือส่วนประกอบของพืชวางบนสไลด์หรือจานเพาะเชื้อ แล้วนำมาวางบนแท่นวางวัตถุ	
4. หมุนปรับความเข้มแสงที่ส่องลงมาที่วัตถุให้พอเหมาะ	

ขั้นตอน	ภาพประกอบ
5. มองผ่านเลนส์ใกล้ตาโดยลืมตาทั้งสองข้างแล้วปรับระยะห่างระหว่างตาจนภาพเห็นซ้อนกันเป็นภาพเดียว	
6. ปรับโฟกัสโดยการหมุนปุ่มปรับภาพจนเห็นภาพชัดเจน	
7. ถ้าต้องการเห็นภาพขนาดใหญ่ขึ้นให้ปรับกำลังขยายของเลนส์ใกล้วัตถุ โดยหมุนแป้นเปลี่ยนกำลังขยายของเลนส์ใกล้วัตถุให้มากขึ้น แล้วปรับโฟกัสอีกครั้ง	
8. ใช้มือเลื่อนสไลด์หรือจานเพาะเชื้อที่มีตัวอย่างที่ศึกษาไปทางขวา-ซ้าย หรือ บน-ล่าง เพื่อสังเกตทิศทางการเคลื่อนของภาพ จากนั้นศึกษาลักษณะภาพที่เกิดขึ้น	

วิธีการดูแลและเก็บรักษากล้องจุลทรรศน์ใช้แสง

ขั้นตอน	ภาพประกอบ
• ในกรณีกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ ให้หมุนเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยายต่ำสุดให้ตรงกับช่องรับแสงกลางแท่นวางวัตถุ แล้วเลื่อนแท่นวางวัตถุให้ต่ำสุด	 หมุนเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยายต่ำสุดให้ตรงกับช่องรับแสงกลางแท่นวางวัตถุ
• ในกรณีกล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ ถ้าเลนส์สกปรก ทำความสะอาดโดยใช้กระดาษเช็ดเลนส์เท่านั้น และเช็ดน้ำมันออกจากปลายเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 100× ทุกครั้งหลังจากใช้กล้องเสร็จ **ระวังอย่าปล่อยให้น้ำมันแห้งติดเลนส์ เพราะจะทำให้เลนส์เสียและอาจมีเชื้อราขึ้น**	 เช็ดน้ำมันออกจากปลายเลนส์ใกล้วัตถุกำลังขยาย 100×
• กล้องที่ใช้หลอดไฟให้เลื่อนสเกลปรับปริมาณแสงไปที่ตัวเลขต่ำสุดก่อนแล้วจึงปิดสวิตช์ไฟและม้วนสายไฟให้เรียบร้อย	
• ใช้ผ้าสะอาดเช็ดทำความสะอาดส่วนอื่น ๆ ของกล้องที่ไม่ใช่เลนส์	
• เมื่อทำความสะอาดกล้องเสร็จแล้วต้องเก็บเข้าที่ ให้ปฏิบัติตามการเคลื่อนย้ายกล้องข้างต้น	

คำศัพท์

บทที่ 1		
ก	กฎ	law
	กระบวนการ	process
	กระบวนการการตอบสนองต่อสิ่งเร้า	responsive process
	กระบวนการสืบพันธุ์และการเจริญเติบโต	generative process
	การเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล	data collection and analysis
	การขับถ่าย	excretion
	การควบคุมสมดุลหรือการรักษาดุลยภาพ	homeostasis
	การจัดระบบ	organization
	การเจริญเติบโต	growth and development
	การตรวจสอบสมมติฐาน	hypothesis testing
	การตอบสนอง	response
	การตั้งสมมติฐาน	hypothesis
	การทดลอง	experiment
	การทดลองที่มีการควบคุม	controlled experiment
	การสังเกต	observation
	การสืบพันธุ์	reproduction
ค	ความรู้	knowledge
ช	ชีวจริยธรรม	bioethics

ซ	เซลล์	cell
ต	ตัวแปร	variable
ท	ทฤษฎี	theory
น	เนื้อเยื่อ	tissue
ป	ประจักษ์พยานทางวิทยาศาสตร์	scientific evidence
	ปัญหา	problem
ม	เมแทบอลิซึม	metabolism
ร	ระบบอวัยวะ	organ system
ว	วิธีการทางวิทยาศาสตร์	scientific method
ส	สมมติฐาน	hypothesis
	สรุปผล	conclusion
	สารพันธุกรรม	genetic material
	สิ่งมีชีวิต	organism
	สิ่งเร้า	stimulus
อ	อวัยวะ	organ
	อายุขัย	life span
	บทที่ 2	
ก	กรดไขมัน	fatty acid
	กรดไขมันที่จำเป็น	essential fatty acid
	กรดไขมันที่ไม่จำเป็น	nonessential fatty acid
	กรดไขมันไม่อิ่มตัว	unsaturated fatty acid
	กรดไขมันอิ่มตัว	saturated fatty acid
	กรดนิวคลิอิก	nucleic acid
	กรดแอมิโน	amino acid

ก	กลีเซอรอล	glycerol
	กลีเซอไรด์	glyceride
	กลูโคส	glucose
	กาแลกโทส	galactose
	ไกลโคเจน	glycogen
	ไกลโคโปรตีน	glycoprotein
	ไกลโคลิพิด	glycolipid
ข	ไข	wax
	ไขมัน	fat
ค	ความจุความร้อนจำเพาะ	specific heat capacity
	คอเลสเตอรอล	cholesterol
	แคแทบอลิซึม	catabolism
	โคแฟกเตอร์	cofactor
	โคเอนไซม์	coenzyme
	ไคทิน	chitin
ซ	ซูโครส	sucrose
ด	ดีออกซีไรโบส	deoxyribose
	ไดกลีเซอไรด์	diglyceride
	ไดแซ็กคาไรด์	disaccharide
	ไดเพปไทด์	dipeptide
ต	ตัวยับยั้งแบบแข่งขัน	competitive inhibitor
	ตัวยับยั้งแบบไม่แข่งขัน	noncompetitive inhibitor
	ตัวยับยั้งเอนไซม์	enzyme inhibitor
	ตัวเร่งปฏิกิริยา	catalyst

ต	ไตรกลีเซอไรด์	triglyceride
	ไตรกลีเซอไรด์	triglyceride
	ไตรเพปไทด์	tripeptide
ธ	ธาตุ	element
น	น้ำมัน	oil
	นิวคลีโอไทด์	nucleotide
	นิวเคลียส	nucleus
	นิวตรอน	neutron
บ	บริเวณเร่ง	active site
ป	ปฏิกิริยาคายพลังงาน	exergonic reaction
	ปฏิกิริยาดูดพลังงาน	endergonic reaction
	โปรตอน	proton
พ	พลังงานกระตุ้น หรือพลังงานก่อกัมมันต์	activation energy
	พอลิแซ็กคาไรด์	polysaccharide
	พอลินิวคลีโอไทด์	polynucleotide
	พอลิเพปไทด์	polypeptide
	พอลิเมอร์	polymer
	พันธะไกลโคซิดิก	glycosidic bond
	พันธะเคมี	chemical bond
	พันธะโคเวเลนต์	covalent bond
	พันธะเพปไทด์	peptide bond
	พันธะไอออนิก	ionic bond
	พันธะไฮโดรเจน	hydrogen bond

พ	เพกทิน	pectin
	เพนโทส	pentose
	เพปทิโดไกลแคน	peptidoglycan
	เพปไทด์	peptide
ฟ	ฟรักโทส	fructose
	ฟอสโฟลิพิด	phospholipid
ม	มอโนกลีเซอไรด์	monoglyceride
	มอโนแซ็กคาไรด์	monosaccharide
	มอโนเมอร์	monomer
	มอลโทส	maltose
	โมเลกุลมีขั้ว	polar molecule
ร	แรงโคฮีชัน	cohesion
	แรงแอดฮีชัน	adhesion
	ไรบูโลส	ribulose
	ไรโบส	ribose
ล	เลขมวล	mass number
	เลขอะตอม	atomic number
	แล็กโทส	lactose
	ไลโซไซม์	lysozyme
ว	เวเลนซ์อิเล็กตรอน	valence electron
ส	สเตอรอยด์	steroid
	สารตั้งต้น	substrate
	สารผลิตภัณฑ์	product
ห	หมู่ฟังก์ชัน	functional group

อ	อะตอม	atom
	อะไมโลเพกทิน	amylopectin
	อะไมโลส	amylose
	RNA	ribonucleic acid
	อิเล็กตรอน	electron
	เอนไซม์	enzyme
	เอนไซม์ซับสเตรตคอมเพลกซ์	enzyme-substrate complex
	แอแนบอลิซึม	anabolism
ฮ	เฮ็กโซส	hexose
	ไฮโดรฟิลิก	hydrophilic
	ไฮโดรโฟบิก	hydrophobic
	บทที่ 3	
ก	กระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน	electron transport chain
	กระบวนการหมัก	fermentation
	กระบวนการหมักกรดแลกติก	lactic acid fermentation
	กระบวนการหมักแอลกอฮอล์	alcohol fermentation
	กรานุม	granum
	กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง	light microscope
	กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ	compound microscope
	กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงแบบสเตอริโอ	stereoscopic microscope
	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	electron microscope
	กอลจิคอมเพล็กซ์ หรือ กอลจิบอดี หรือ กอลจิแอพพาราตัส	Golgi complex หรือ Golgi body หรือ Golgi apparatus
	การเติบโต	growth

ก	การนำสารเข้าสู่เซลล์โดยอาศัยตัวรับ	receptor - mediated endocytosis
	การแบ่งเซลล์	cell division
	การแบ่งไซโทพลาซึม	cytokinesis
	การแบ่งนิวเคลียส	karyokinesis
	การแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิส	mitosis
	การแบ่งนิวเคลียสแบบไมโอซิส	meiosis
	การแพร่แบบธรรมดา	simple diffusion
	การแพร่แบบฟาซิลิเทต	facilitated diffusion
	การหายใจระดับเซลล์	cellular respiration
	การไหลเวียนของไซโทพลาซึม	cyclosis
	ไกลโคไลซิส	glycolysis
ค	ครอสซิงโอเวอร์	crossing over
	คริสตี	cristae
	คลอโรพลาสต์	chloroplast
	คลอโรฟิลล์	chlorophyll
	ความแปรผันทางพันธุกรรม	genetic variation
	คอนแทร็กไทล์แวคิวโอล	contractile vacuole
	เคอราทิน	keratin
	โครมาทิด	chromatid
	โครมาทิน	chromatin
	โครโมโซม	chromosome
	โครโมโซมเพศ	sex chromosome
	โครโมพลาสต์	chromoplast
	ไคแอสมา	chiasma

ซ	ซิเลีย	cilia
ซ	ซิสเตอร์โครมาทิด	sister chromatid
	เซนทริโอล	centriole
	เซนโทรโซม	centrosome
	เซนโทรเมียร์	centromere
	เซลลูโลส	cellulose
	แซบแวคิวโอล	sap vacuole
	ไซโทซอล	cytosol
	ไซโทพลาซึม	cytoplasm
	ไซโทสเกเลตอน	cytoskeleton
ด	ดิพลอยด์	diploid
ท	ทิวบูลิน	tubulin
	ไทลาคอยด์	thylakoid
น	นอนซิสเตอร์โครมาทิด	non-sister chromatid
	นิวคลีออยด์	nucleoid
	นิวคลีโอลัส	nucleolus
ป	โปรตีนตัวรับ	receptor protein
	โปรตีนลำเลียง	transport protein
	โปรตีนเอนไซม์	enzymatic protein
ผ	ผนังเซลล์	cell wall
	แผ่นกั้นเซลล์	cell plate
พ	พลาสทิด	plastid
	พลาสโมเดสมาตา	plasmodesmata
	พิโนไซโทซิส	pinocytosis

พ	เพอร็อกซิโซม	peroxisome
	โพรแคริโอต	prokaryote
ฟ	ฟลูอิดโมเซอิกโมเดล	fluid mosaic model
	ฟอสโฟลิพิด	phospholipid
	ฟาโกไซโทซิส	phagocytosis
	ฟูดแวคิวโอล	food vacuole
	แฟลเจลลัม	flagellum
ม	เมทริกซ์	matrix
	ไมโครทิวบูล	microtubule
	ไมโครฟิลาเมนท์ หรือ แอกทินฟิลาเมนท์	microfilament หรือ actin filament
	ไมโทคอนเดรีย	mitochondria
ย	ยูแคริโอต	eukaryote
	เยื่อเลือกผ่าน	selectively permeable membrane
	เยื่อหุ้มเซลล์	cell membrane
	เยื่อหุ้มนิวเคลียส	nuclear membrane หรือ nuclear envelope
ร	ระยะที่มีการแบ่งแบบไมโทซิส	mitotic phase หรือ M phase
	ระยะเทโลเฟส	telophase
	ระยะเทโลเฟส I	telophase I
	ระยะโพรเฟส	prophase
	ระยะโพรเฟส I	prophase I
	ระยะเมทาเฟส	metaphase
	ระยะเมทาเฟส I	metaphase I
	ระยะไมโอซิส I	Meiosis I

ร	ระยะไมโอซิส II	Meiosis II
	ระยะอินเตอร์ไคเนซิส	interkinesis
	ระยะอินเตอร์เฟส	interphase
	ระยะแอนาเฟส	anaphase
	ระยะแอนาเฟส I	anaphase I
	ไรโบโซม	ribosome
ล	ลิวโคพลาสต์	leucoplast
	โลคัส	locus
	ไลโซโซม	lysosome
ว	วัฏจักรเซลล์	cell cycle
	วัฏจักรเครบส์	Krebs cycle
	เวสิเคิล	vesicle
	แวคิวโอล	vacuole
ส	สเตอรอยด์	steroid
	สโตรมา	stroma
	สโตรมาลาเมลลา	stroma lamella หรือ intergrana lamella
	สายไซโทพลาซึม	cytoplasmic strand
	เส้นใยสปินเดิล	spindle fiber
อ	ออโตโซม	autosome
	ออร์แกเนลล์	organelle
	ออสโมซิส	osmosis
	อินเทอร์มีเดียทฟิลาเมนท์	intermediate filament
	เอกโซไซโทซิส	exocytosis

อ	เอนโดไซโทซิส	endocytosis
	เอนโดพลาสมิกเรติคูลัม	endoplasmic reticulum: ER
	เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมแบบผิวขรุขระ	rough endoplasmic reticulum: RER
	เอนโดพลาสมิกเรติคูลัมแบบผิวเรียบ	smooth endoplasmic reticulum: SER
	แอกทีฟทรานสปอร์ต	active transport
ฮ	ฮอมอโลกัสโครโมโซม	homologous chromosome
	แฮพลอยด์	haploid

บรรณานุกรม

กระทรวงพลังงาน. (2554). **พระบิดาแห่งการพัฒนาพลังงานไทย** (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน.

ราชบัณฑิตยสถาน. (2546). **ศัพท์วิทยาศาสตร์ อังกฤษ-ไทย ไทย-อังกฤษ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน** (พิมพ์ครั้งที่ 5 แก้ไขเพิ่มเติม). กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด อรุณการพิมพ์.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2558). **หนังสือเรียนรายวิชาพื้นฐาน ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4–6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ สำหรับนักเรียนที่เน้นวิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551** (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2558). **หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติม ชีววิทยา เล่ม 1 ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551** (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว.

สำนักงานราชบัณฑิตยสภา. (2560). **พจนานุกรมศัพท์พันธุศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสภา** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด อรุณการพิมพ์.

Appling, D. R., Anthony-Cahill, S. J., Mathews, C. K. (2016). **Biochemistry Concepts and Connections** (Global ed). London: Pearson Education Limited.

Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Reece, J. B. (2018). **Biology: A global approach** (11^{th} ed). New York: Pearson Education Limited.

Griffiths, A. J. F., Susan R. W., Sean B. C., & John D. (2012). **Introduction to genetic analysis** (10^{th} ed). New York: W.H. Freeman and Company.

Hardin, J., Bertoni, G. (2016). **Becker's World Of The Cell** (9Th Ed). Boston: Pearson Education, Inc.

Mader, S. S., Windelspecht, M. (2016). **Biology** (12th ed). New York: McGraw-Hill Education.

Marry K., Campbell and Shawn O. Farrell. (2008). **Biochemistry** (6th ed). Canada: Nelson Education Limited.

Moran, L. M., Horton, R. A., Scrimgeour, G., Perry, M. (2014). **Principles of Biochemistry** (5th ed). London: Pearson Education Limited.

Teresa Audesirk, Gerald Audesirk and Bruce E.Byers. (2008). **Biology : life on earth with physiology** (8th ed). New York: Pearson Education Limited.

ที่มาของรูป

ที่มา	รูป (หน้า)
เอื้อเฟื้อโดย ผศ.ดร.เพลินพิศ โชคชัยชำนาญกิจ ภาควิชาพฤกษศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	- 3.43 ข. (199) - 3.45 (200) - 3.46 (203) - 3.61 ก (ระยะอินเตอร์เฟส – ระยะ-เทโลเฟส I และระยะโพรเฟส I – การแบ่งไซโทพลาซึม) (214-215)
เอื้อเฟื้อโดย ศ.ดร.ไพศาล สิทธิกรกุล คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ	- เซลล์ประสาท (หน้าปก) - สไปโรไจราภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสงเชิงประกอบ (137) - อะมีบา เซลล์เม็ดเลือดขาว และเซลล์ประสาท (153) - 3.61 ก (ระยะอินเตอร์ไคเนซิส) (215) - 3.61 ข. และ ค (214-215)

คณะกรรมการจัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

คณะที่ปรึกษา

1. ดร.พรพรรณ ไวทยางกูร	ผู้อำนวยการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. รศ.ดร.สัญญา มิตรเอม	รองผู้อำนวยการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะผู้จัดทำหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 1

1. รศ.ดร.ธีรพงษ์ บัวบูชา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์	ผู้ช่วยผู้อำนวยการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
3. ศ.ดร.ไพศาล สิทธิกรกุล	ผู้เชี่ยวชาญพิเศษ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
4. นายธีรพัฒน์ เวชชประสิทธิ์	ผู้อำนวยการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
5. รศ.ดร.วีระวรรณ สิทธิกรกุล	ผู้เชี่ยวชาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
6. นางเพ็ชรรัตน์ ศรีวิลัย	ผู้เชี่ยวชาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
7. ผศ.ดร.พัชนี สิงห์อาษา	ผู้ชำนาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
8. นายณรงค์ พ่วงศรี	ผู้ชำนาญ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

9. ดร.ปารวีร์ เล็กประเสริฐ	นักวิชาการอาวุโสสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
10. นางสาววิลาส รัตนานุกูล	นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
11. ดร.ขวัญชนก ศรัทธาสุข	นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
12. ดร.ภัณฑิลา อุดร	นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
13. นางสาวปาณิก เวียงชัย	นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะผู้ร่วมพิจารณาหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ ชีววิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 เล่ม 1

1. รศ.ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. ผศ.ดร.ชัชวาล ใจซื่อกุล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ผศ.ดร.มานิต คิดอยู่	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. ผศ.ดร.รัชนีกร ธรรมโชติ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. อ.ดร.กิตติคุณ วังกานนท์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6. นายวีระเดช คำถาวร	โรงเรียนหอวัง กรุงเทพมหานคร
7. นางถนิมาภรณ์ ตั้งตรัยรัตนกุล	โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา กรุงเทพมหานคร
8. นายสุรเดช ศรีทา	โรงเรียนสาธิตแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร
9. นางสาวนิภากรณ์ เกิดอ้น	โรงเรียนโยธินบูรณะ กรุงเทพมหานคร
10. นายชัยยศ นุ่มกลิ่น	โรงเรียนศรีบุณยานนท์ จ.นนทบุรี
11. นางศิริพร ชนะพาล	โรงเรียนจอมสุรางค์อุปถัมภ์ จ.อยุธยา
12. นายสิปป์แสง สุขผล	โรงเรียนรัตนโกสินทร์สมโภช จ.นครปฐม
13. นางสาววิรัญญา สุขมี	โรงเรียนพัทลุง จ.พัทลุง
14. นายอนุรุทธิ์ หมีดเส็น	โรงเรียนจุฬาภรณราชวิทยาลัย จ.นครศรีธรรมราช

15. นางวรรณวิภา เบญจเลิศยานนท์	โรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทร์ ภูเก็ต จ.ภูเก็ต
16. นายสุรเดช เอ่งฉ้วน	โรงเรียนอ่าวลึกประชาสรรค์ จ.กระบี่
17. นายนราธิป ประสมบูรณ์	โรงเรียนนารีนุกูล จ.อุบลราชธานี
18. นางราษี สืบโมรา	โรงเรียนพยัคฆภูมิวิทยาคาร จ.มหาสารคาม
19. นายฉัตรชัย ชัยนนถี	โรงเรียนสูงเม่นชนูปถัมภ์ จ.แพร่
20. นางสาวณัฏยา สุริยนต์	โรงเรียนสามัคคีวิยาคม จ.เชียงราย
21. นางสาวอภิวัลย์ มาสชรัตน์	โรงเรียนพิษณุโลกพิทยาคม จ.พิษณุโลก
22. นายวรรณพฤกษ์ เทียมเดช	โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จ.เพชรบุรี
23. ดร.สุนัดดา โยมญาติ	ผู้ชำนาญสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
24. ดร.นันทยา อัครอารีย์	นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
25. นางสาวปุณยาพร บริเวธานันท์	นักวิชาการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะบรรณาธิการ

1. รศ.ดร.ธีรพงษ์ บัวบูชา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
2. รศ.ดร.ศุภจิตรา ชัชวาลย์	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ผศ.ดร.ชัชวาล ใจซื่อกุล	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. ผศ.ดร.มานิต คิดอยู่	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. ผศ.ดร.รัชนีกร ธรรมโชติ	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
6. ดร.วนิดา ธนประโยชน์ศักดิ์	ผู้ช่วยผู้อำนวยการ สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
7. ศ.ดร.ไพศาล สิทธิกรกุล	ผู้เชี่ยวชาญพิเศษสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
8. นายธีรพัฒน์ เวชชประสิทธิ์	ผู้อำนวยการสาขาวิทยาศาสตร์มัธยมศึกษาตอนปลาย สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว นายพินิจศักดิ์ สุวรรณรังค์ ผู้พิมพ์และผู้โฆษณา พ.ศ. 2561

คำอธิบายรายวิชาเพิ่มเติม

ชีววิทยา เล่ม ๑ **กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)**

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔ **เวลา ๖๐ ชั่วโมง จำนวน ๑.๕ หน่วยกิต**

ศึกษาเกี่ยวกับธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต ลักษณะเฉพาะของสิ่งมีชีวิต แขนงวิชาที่เกี่ยวข้องกับชีววิทยาและการใช้ความรู้ทางชีววิทยาที่เป็นประโยชน์ต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม ชีววิทยากับการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต ความตระหนักในเรื่องของชีวจริยธรรม การศึกษาชีววิทยาโดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งการศึกษาวิธีการทำงานของนักวิทยาศาสตร์ และการนำความรู้เกี่ยวกับชีววิทยามาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน การทำกิจกรรมสะเต็มศึกษาโดยใช้กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อแก้ปัญหาในชีวิตจริง ศึกษาเคมีที่เป็นพื้นฐานของสิ่งมีชีวิต โครงสร้างและหน้าที่ของสารต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต และปฏิกิริยาเคมีในเซลล์ของสิ่งมีชีวิต ศึกษาส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์ใช้แสง หลักการทำงาน วิธีการใช้ รวมทั้งการดูแลและเก็บรักษา ศึกษาโครงสร้างและหน้าที่ของส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์ ไซโทพลาซึม และนิวเคลียส การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ การหายใจระดับเซลล์ซึ่งเป็นกระบวนการที่เซลล์สร้างพลังงานจากการสลายสารอาหารสำหรับนำไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ของเซลล์ และการแบ่งเซลล์ โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ การสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล การสังเกต วิเคราะห์ เปรียบเทียบ อธิบาย อภิปราย และสรุป เพื่อให้เกิดความรู้ ความเข้าใจ มีความสามารถในการตัดสินใจ มีทักษะปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ รวมทั้งทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ในด้านการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ด้านการคิดและการแก้ปัญหา ด้านการสื่อสารสามารถสื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตของตนเอง มีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่เหมาะสม

ผลการเรียนรู้

๑. อธิบายและสรุปสมบัติที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต และความสัมพันธ์ของการจัดระบบในสิ่งมีชีวิตที่ทำให้สิ่งมีชีวิตดำรงชีวิตอยู่ได้
๒. อภิปรายและบอกความสำคัญของการระบุปัญหา ความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา สมมติฐาน และวิธีการตรวจสอบสมมติฐาน รวมทั้งออกแบบการทดลองเพื่อตรวจสอบสมมติฐาน
๓. สืบค้นข้อมูล อธิบายเกี่ยวกับสมบัติของน้ำและบอกความสำคัญของน้ำที่มีต่อสิ่งมีชีวิต และยกตัวอย่างธาตุชนิดต่าง ๆ ที่มีความสำคัญต่อร่างกายสิ่งมีชีวิต
๔. สืบค้นข้อมูล อธิบายโครงสร้างของคาร์โบไฮเดรต ระบุกลุ่มของคาร์โบไฮเดรต รวมทั้งความสำคัญของคาร์โบไฮเดรตที่มีต่อสิ่งมีชีวิต
๕. สืบค้นข้อมูล อธิบายโครงสร้างของโปรตีน และความสำคัญของโปรตีนที่มีต่อสิ่งมีชีวิต
๖. สืบค้นข้อมูล อธิบายโครงสร้างของลิพิด และความสำคัญของลิพิดที่มีต่อสิ่งมีชีวิต
๗. อธิบายโครงสร้างของกรดนิวคลิอิก และระบุชนิดของกรดนิวคลิอิกและความสำคัญของกรดนิวคลิอิกที่มีต่อสิ่งมีชีวิต
๘. สืบค้นข้อมูลและอธิบายปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิต
๙. อธิบายการทำงานของเอนไซม์ในการเร่งปฏิกิริยาเคมีในสิ่งมีชีวิตและระบุปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์
๑๐. บอกวิธีการและเตรียมตัวอย่างสิ่งมีชีวิตเพื่อศึกษาภายใต้กล้องจุลทรรศน์ใช้แสง วัดขนาดโดยประมาณและวาดภาพที่ปรากฏภายใต้กล้อง บอกวิธีการใช้ และการดูแลรักษากล้องจุลทรรศน์ใช้แสงที่ถูกต้อง
๑๑. อธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของส่วนที่ห่อหุ้มเซลล์ของเซลล์พืชและเซลล์สัตว์
๑๒. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และระบุชนิดและหน้าที่ของออร์แกเนลล์
๑๓. อธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของนิวเคลียส
๑๔. อธิบายและเปรียบเทียบการแพร่ ออสโมซิส การแพร่แบบฟาซิลิเทต และแอกทีฟทรานสปอร์ต
๑๕. สืบค้นข้อมูล อธิบาย และเขียนแผนภาพการลำเลียงสารโมเลกุลใหญ่ออกจากเซลล์ด้วยกระบวนการเอกโซไซโทซิสและการลำเลียงสารโมเลกุลใหญ่เข้าสู่เซลล์ด้วยกระบวนการเอนโดไซโทซิส
๑๖. สังเกตการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิสและแบบไมโอซิสจากตัวอย่างภายใต้กล้องจุลทรรศน์พร้อมทั้งอธิบายและเปรียบเทียบการแบ่งนิวเคลียสแบบไมโทซิสและแบบไมโอซิส
๑๗. อธิบาย เปรียบเทียบ และสรุปขั้นตอนการหายใจระดับเซลล์ในภาวะที่มีออกซิเจนเพียงพอและภาวะที่มีออกซิเจนไม่เพียงพอ

รวมทั้งหมด ๑๗ ผลการเรียนรู้

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

พต.ชีววิทยาล.1ม.4
9 786163 626776
ราคา 101.00 บาท

ศึกษาภัณฑ์พาณิชย์
พิมพ์ที่โรงพิมพ์ สกสค. ลาดพร้าว
นายพินิจศักดิ์ สุวรรณรังค์ ผู้พิมพ์และผู้โฆษณา
๖๑๐๐๑๓๗
www.suksapan.or.th